Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada

Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/017

Région des Maritimes

Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine en 2016

C. Johnson, E. Devred, B. Casault, E. Head, et J. Spry

Pêches et Océans Canada
Institut océanographique de Bedford
1, promenade Challenger, C.P. 1006
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2

Août 2018

Canada

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (ON) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Johnson, C., Devred, E., Casault, B., Head, E., et Spry, J. 2018. Conditions océanographiques optiques, chimiques et biologiques sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Doc. de rech. 2018/017. v + 63 p.

Also available in English :.

Johnson, C., Devred, E., Casault, B., Head, E., and Spry, J. 2018. Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Eastern Gulf of Maine in 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/017. v + 58 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ v

INTRODUCTION 1

MÉTHODES 2

MISSIONS 2

Stations d'échantillonnage à haute fréquence 2

Sections du plateau néo-écossais 3

Relevés au chalut de l'écosys[illegible]e 3

DÉPLOIEMENT DES ENGINS 4

Conductivité, température et profondeur 4

Traits de filet 4

MESURES DÉRIVÉES 4

Couche de mélange et indices de stratification 4

Propriétés optiques 4

Variables intégrées verticalement 5

Groupes taxonomiques de phytoplancton 5

TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN 6

FEUILLES DE NOTATION 6

ACCÈS AUX PRODUITS DE DONNÉES 7

ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON 7

OBSERVATIONS 8

MÉLANGE ET PROPRIÉTÉS OPTIQUES 8

ÉLÉMENTS NUTRITIFS 9

Stations d'échantillonnage à haute fréquence 9

Relevés à vaste échelle 10

PHYTOPLANCTON 11

Stations d'échantillonnage à haute fréquence 11

Relevés à vaste échelle et télédétection par satellite 12

ZOOPLANCTON 14

Stations d'échantillonnage à haute fréquence 14

Relevés à vaste échelle 15

Espèces indicatrices 16

DISCUSSION 17

ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON 20

PHYTOPLANCTON 20

ZOOPLANCTON 20

ORGANISMES SENSIBLES AUX ACIDES 21

RÉSULTATS DE L'ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON *VERSUS* LES RÉSULTATS DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DES OBSERVATIONS *IN SITU* 21

SOMMAIRE 22
REMERCIEMENTS 23
RÉFÉRENCES 23
TABLEAUX 26
FIGURES 27

RÉSUMÉ

L'état des éléments nutritifs et du plancton sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine a été évalué dans le contexte des températures de surface et de fond plus chaudes que la normale en 2016, en accord avec la tendance ayant débuté en 2008, ainsi qu'en fonction de la stratification supérieure à la normale en été et en automne observée lors des dernières années. Dans l'ensemble, l'inventaire des éléments nutritifs profonds était inférieur à la normale en 2016. Bien que l'anomalie des nitrates profonds ait été variable au cours des dernières années, l'inventaire de silicate et phosphate profond est demeuré principalement négatif depuis 2013. La floraison printanière du phytoplancton a été précoce et de courte durée dans l'est du plateau néo-écossais, et de faible amplitude et de courte durée dans le centre et l'ouest du plateau néo-écossais. Le début précoce de la floraison printanière en 2016 se démarque des conditions plus tardives observées sur le plateau néo-écossais au cours des dernières années. Les observations en 2016 ont fourni des preuves supplémentaires corroborant au changement persistant de la communauté du plancton au cours des dernières années. L'abondance du gros phytoplancton, incluant les diatomées, est demeurée inférieure à la normale. La biomasse du zooplancton et l'abondance du *Calanus finmarchicus* sont également restées inférieures à la normale contrairement à l'abondance des non-copépodes qui était élevée. L'abondance de *Calanus* arctique, un indicateur de la présence d'eau froide sur le plateau néo-écossais, est demeurée inférieure à la normale. L'abondance supérieure à la moyenne de l'espèce *Oithona atlantica* et des espèces extracôtières chaudes suggère une plus grande influence des eaux extracôtières au cours des dernières années, en particulier dans l'ouest du plateau néo-écossais. Les changements dans les communautés de phytoplancton et de zooplancton observés au cours des dernières années suggèrent des changements dans les sources alimentaires de plusieurs espèces de poissons, d'oiseaux et de mammifères planctivores, et pourraient être associés à des changements futurs dans la production primaire de l'écosystème.

Les données recueillies à l'aide d'enregistreurs de plancton en continu (CPR) deviennent disponibles une année plus tard que les données recueillies par le Programme de Monitorage de la Zone Atlantique. En 2015, il y a eu échantillonnage pour seulement 7 mois entre avril et novembre dans l'ouest du plateau néo-écossais et pour seulement 5 mois entre juin et novembre dans l'est du plateau néo-écossais. En raison de la couverture temporelle insuffisante, les abondances moyennes annuelles et les anomalies d'abondance n'ont pu être calculées pour 2015. L'échantillonnage dans l'ouest du plateau néo-écossais (WSS) en avril-mai a indiqué (i) des niveaux près de la normale pour trois groupes de phytoplancton et les taxons dominants de zooplancton *Calanus* I-IV et *C. finmarchicus* V-VI, (ii) des niveaux inhabituellement bas pour deux espèces de *Calanus* arctique et les amphipodes hyperiides, et (iii) des niveaux bas ou près de la normale pour sept autres taxons. L'échantillonnage sur l'ensemble du plateau néo-écossais entre juin et novembre a indiqué (i) des niveaux près de la normale pour les trois groupes de phytoplancton, (ii) des niveaux inférieurs à la normale (juin-septembre) ou près de la normale (octobre-novembre) pour plusieurs taxons dont entre autres *Calanus* I-IV, *C. finmarchicus* V-VI, mais des abondances supérieures à la normale pour les coccolithophores et les foraminifères dans l'est du plateau néo-écossais de septembre à novembre.

INTRODUCTION

Le Programme de monitorage de la zone Atlantique (PMZA) a été mis en œuvre en 1998 pour améliorer la capacité de Pêches et Océans Canada (MPO) de comprendre, de décrire et de prévoir l'état de l'écosystème marin (Therriault *et al.* 1998). La PMZA tire ses renseignements sur le milieu et les écosystèmes marins de données recueillies dans un réseau d'emplacements d'échantillonnage (points fixes, stations d'échantillonnage à haute fréquence, sections traversant le plateau, relevés au chalut de l'écosystème) qui se trouvent dans chaque région du MPO (Québec, Golfe, Maritimes et Terre-Neuve-et-Labrador) et qui sont échantillonnés à une fréquence bimensuelle à annuelle. La conception de l'échantillonnage permet d'offrir des renseignements de base quant à la variabilité des propriétés physiques, chimiques et biologiques sur le plateau continental de l'Atlantique Nord-Ouest à des échelles annuelles et interannuelles. Les relevés au chalut de l'écosystème et les sections qui traversent le plateau continental nous offrent des renseignements à propos de la variabilité environnementale à vaste échelle (Harrison *et al.* 2005), mais sont limités en ce qui concerne la couverture saisonnière. Des stations d'échantillonnage à haute fréquence complètent l'échantillonnage effectué à vaste échelle en fournissant davantage de renseignements détaillés sur les changements annuels des propriétés de l'océan.

Le présent rapport fournit une évaluation de la répartition et de la variabilité des éléments nutritifs et du plancton sur le plateau Néo-Écossais et dans l'est du golfe du Maine, et est axé sur les conditions qui prévalaient en 2016. Il complète des évaluations semblables menées sur l'environnement physique de la région des Maritimes (p. ex., Hebert *et al.* 2018), notamment sur l'environnement pélagique dans le golfe du Saint-Laurent (p. ex., Devine *et al.* 2017, Galbraith *et al.* 2017), sur les plateaux de Terre-Neuve-et-Labrador, sur les Grands Bancs (p. ex., Colbourne *et al.* 2017, Pepin *et al.* 2017) et sur le système du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest canadien dans son ensemble (MPO 2017).

Le plateau néo-écossais se trouve dans une zone de transition qui est influencée par les eaux subpolaires, qui s'écoulent principalement dans la région à partir du golfe du Saint-Laurent et du plateau de Terre-Neuve, et par des eaux de mer ouverte plus chaudes. Les propriétés des eaux profondes de l'ouest du plateau néo-écossais affichent des changements importants de la température, lesquels reflètent des changements dans la source des eaux profondes de la pente vers le plateau, entre des eaux froides et moins riches en éléments nutritifs de la pente du Labrador et des eaux chaudes plus riches en éléments nutritifs de la pente, lesquels changements pourraient être déclenchés par des profils de pression atmosphérique à vaste échelle (Petrie 2007). Sur le plateau néo-écossais, la température et la salinité sont également influencées par des transferts de chaleur entre l'atmosphère et l'océan, par des mélanges locaux, par les précipitations et par les ruissellements à partir des terres. Les changements dans l'environnement pélagique physique ont une incidence sur la composition des communautés de plancton et sur les cycles annuels de production biologique, avec des répercussions sur le transfert d'énergie vers le niveau trophique supérieur.

Les températures de l'océan sur le plateau néo-écossais et dans le golfe du Maine ont affiché une forte variabilité interdécennale depuis que l'on a commencé à surveiller la température au cours de la première moitié du 20^{e} siècle, et l'on a enregistré des températures généralement plus chaudes que la moyenne durant les dernières années (2010-2016) (Hebert *et al.* 2018). L'indice composite de la température pour la région des Maritimes en 2016, qui comprend 18 séries chronologiques sur la température de l'océan et couvre les eaux de la surface au fond, indiquait que l'année 2016 était la deuxième année parmi les plus chaudes enregistrées depuis 1947, avec des conditions plus chaudes observées uniquement en 2012. Les anomalies positives de la température de la surface de la mer étaient les plus prononcées en hiver et à la

fin de l'été et en automne sur le plateau néo-écossais, et des anomalies positives de la température de la surface de la mer étaient enregistrées tout au long de l'année dans le golfe du Maine. Après des conditions normales de la glace de mer en 2014 et 2015, la couverture de la glace de mer est revenue à des niveaux faibles semblables à ceux observés entre 2010 et 2013. Les températures au fond mesurées durant les relevés du mois de juillet se situaient au-dessus de la moyenne sur près de l'ensemble du plateau néo-écossais, et de fortes anomalies de la température à la subsurface ont été enregistrées dans les eaux de l'est et du centre de la pente continentale Néo-Écossaise. La stratification de l'océan a affiché une tendance à la hausse sur le plateau néo-écossais depuis les années 1950, laquelle est déclenchée par des températures plus chaudes et une salinité moindre et, en 2016, l'indice de stratification sur le plateau néo-écossais se situait au-dessus de la moyenne enregistrée entre 1981 et 2010. (Hebert *et al.* 2018). L'état des éléments nutritifs et du plancton dans la région en 2016 est traité dans le présent document dans le contexte des conditions physiques changeantes du milieu marin.

MÉTHODES

Dans la mesure du possible, le prélèvement et le traitement des échantillons sont conformes aux protocoles standard établis (Mitchell *et al.* 2002). Des mesures non standard ou des variables dérivées sont décrites ci-dessous.

MISSIONS

Le personnel naviguant du PMZA pour la région des Maritimes du MPO a participé à six missions (croisières saisonnières sur des sections du plateau, relevés au chalut de l'écosystème et échantillonnage de sections se trouvant dans le détroit de Cabot et à Halifax au cours d'une mission sur la mer du Labrador) durant l'année civile de 2016, outre les sorties quotidiennes en mer vers les deux stations d'échantillonnage à haute fréquence. En 2016, le PMZA pour la région des Maritimes a exécuté un nombre total de 572 occupations de stations hydrographiques, dont 242 ont servi à prélever des échantillons nets (tableau 1).

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

Les stations d'échantillonnage à haute fréquence d'Halifax-2 et de Prince-5 (figure 1) ont été échantillonnées à 19 et 12 reprises, respectivement, de façon semblable aux fréquences d'échantillonnage utilisées ces dernières années.

La série standard de l'échantillonnage aux stations d'échantillonnage à haute fréquence comprend ce qui suit :

- un profil de la conductivité, de la température et de la profondeur (CTP; variables mesurées à l'aide d'un instrument de Sea-Bird Scientific), de pair avec l'oxygène dissous, la fluorescence et le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA);
- des échantillons d'eau prélevés à l'aide de bouteilles Niskin à des profondeurs standards pour l'analyse des éléments nutritifs, l'étalonnage du dispositif de mesure de la salinité et du dispositif de mesure de l'oxygène ainsi que l'analyse de la chlorophylle et l'analyse des pigments accessoires;
- des échantillons d'eau prélevés à l'aide de bouteilles Niskin pour le dénombrement du phytoplancton;
- des traits effectués à l'aide d'une bolinche verticale (taille de maille de 202 µm) pour mesurer la biomasse (poids humide) et l'abondance du zooplancton;

- des mesures de la profondeur à l'aide d'un disque de secchi pour rendre compte de l'atténuation de la lumière, lorsque cela était possible.

Sections du plateau néo-écossais

Les quatre sections principales (banc de Browns, Halifax, Louisebourg, détroit de Cabot; figure 1) et un certain nombre de sections ou de stations connexes (marques grises, à la figure 2) ont été échantillonnés au printemps et en automne (tableau 1). En raison de contraintes opérationnelles, la section du détroit de Cabot n'a pas été échantillonnée durant les relevés saisonniers ordinaires (HUD2016-003), mais plutôt dans le cadre des relevés effectués dans la mer du Labrador (HUD2016-006), l'échantillonnage aux stations du détroit de Cabot ayant été effectué le 2 mai 2016 (c.-à-d. cinq jours après l'achèvement des relevés saisonniers de printemps). Les résultats de l'échantillonnage aux sections ou stations connexes et découlant de l'occupation de la section d'Halifax au mois de mai dans le cadre de la mission d'échantillonnage dans la mer du Labrador ne sont pas consignés dans le présent document.

- La série d'échantillonnage standard pour les sections ou les stations est la même que pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, telle qu'énumérée ci-dessus, mais le phytoplancton n'a pas été dénombré.

Outre la série d'analyses standards réalisées à partir d'échantillons d'eau, une mesure du carbone organique particulaire a été prise à des profondeurs standards. Les résultats de ces mesures connexes ne sont pas consignés dans le présent document.

Relevés au chalut de l'écosystème

Le personnel du PMZA pour la région des Maritimes du MPO a participé à trois relevés principaux au chalut de l'écosystème en 2016 : le relevé d'hiver (février-mars) sur le banc de Georges, le relevé de la fin de l'hiver (mars) sur l'ouest du plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine, et le relevé d'été (juin-juillet-août) sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine (figure 3). Ces relevés ont été effectués par la Division de l'écologie des populations du Secteur des sciences du MPO, avec la participation du personnel du PMZA.

La série des échantillonnages effectués aux stations des relevés au chalut de l'écosystème comprend les mesures énumérées ci-dessus pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, mais l'ensemble standard des profondeurs utilisées pour l'échantillonnage des bouteilles d'eau est plus limité, et les traits effectués à l'aide d'une bolinche verticale (taille des mailles de 202 µm) n'ont concerné qu'un sous-ensemble de stations (figure 3).

La somme des nitrates et des nitrites est consignée dans le présent document sous le terme de « nitrates ». Les concentrations de nitrates au fond ont été interpolées sur une grille de latitude-longitude de trois minutes en utilisant une estimation optimale (Petrie *et al.* 1996) pour produire des cartes des propriétés du fond au sein des strates des relevés au chalut de l'écosystème. La méthode d'interpolation utilise les trois valeurs voisines les plus proches, les données se trouvant près du point de la grille d'interpolation étant pondérées proportionnellement plus que celles se trouvant plus loin. Le barème de pondération est décrit dans Petrie et Dean-Moore (1996), avec des échelles de longueur horizontale de 30 km, une échelle de longueur verticale de 15 m (profondeur < 50 m) ou de 25 m (profondeurs s'échelonnant entre 50 et 500 m). Les concentrations d'oxygène au fond étaient interpolées de façon optimale en utilisant la même technique que pour les nitrates. On a mesuré les concentrations d'oxygène en utilisant un capteur à oxygène configuré pour mesurer la conductivité, la température et la profondeur, lequel capteur a été étalonné par rapport aux concentrations d'oxygène mesurées par la titration de Winkler. Les anomalies afférentes à l'oxygène au fond ne sont pas consignées dans le présent document, car la qualité des données sur l'oxygène recueillies avant 2015 est en cours d'examen.

DÉPLOIEMENT DES ENGINS

Conductivité, température et profondeur

La mesure de la conductivité, de la température et de la profondeur (CTP) est prise à une profondeur cible qui se situe à deux mètres du fond.

Les profondeurs standards pour les échantillons d'eau comprennent les suivantes :

- Stations d'échantillonnage à haute fréquence :
  1. Halifax-2 : 1, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 140 m
  2. Prince-5: 1, 10, 25, 50, 95 m
- Sections saisonnières : près de la surface, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 250, 500, 1 000, 1 500, 2 000 m, près du fond (les profondeurs échantillonnées sont limitées par la profondeur du fond)
- Relevés au chalut de l'écosystème : 5, 25, 50 m, et près du fond lorsque cela est possible

Traits de filet

Des bolinches d'une taille de maille standard de 202 µm sont hissées verticalement depuis la proximité du fond jusqu'à la surface à une vitesse d'environ 1 m/s. Dans les eaux profondes de mer ouverte, la profondeur maximale du trait est de 1 000 m. Les échantillons sont conservés dans du formol tamponné et analysés conformément au protocole énoncé dans Mitchell et ses collaborateurs (2002).

MESURES DÉRIVÉES

Couche de mélange et indices de stratification

On a calculé deux indices simples de la structure physique verticale de la colonne d'eau.

1. On a déterminé la profondeur de la couche de mélange (PCM) à partir des observations de la conductivité, de la température et de la profondeur comme étant la profondeur minimale où le gradient de densité était égal ou supérieur à 0,01 kg/m^4.
2. L'indice de stratification ($Strat_{ind}$) a été calculé comme suit :

$$Strat_{Ind} = (\sigma_{t\text{-}50} - \sigma_{t\text{-}zmin})/(50 - z_{min})$$

où $\sigma_{t\text{-}50}$ et $\sigma_{t\text{-}zmin}$ sont les valeurs interpolées de la densité (σ_t) à 50 m et z_{min}, la profondeur minimum à laquelle on obtient des données fiables sur la CTP, qui oscille habituellement entre 1 et 2 m et qui est toujours inférieure à environ 5 m.

Propriétés optiques

Les propriétés optiques de l'eau de mer (coefficient d'atténuation, profondeur de la zone euphotique) ont été dérivées de mesures *in situ* de l'extinction de la lumière reposant sur un compteur du RPA monté sur rosette et sur la profondeur d'après le disque de secchi, conformément aux procédures suivantes.

1. On a estimé le coefficient d'atténuation verticale vers le bas pour le RPA ($K_{d\text{-}RPA}$) comme étant la pente de la régression linéaire de ln ($E_d(z)$) versus la profondeur z (où $E_d(z)$ est la valeur de l'éclairement énergétique vers le bas à une profondeur z) dans l'intervalle des profondeurs calculé à partir d'une profondeur minimale de 50 m. La profondeur minimale se

situe habituellement autour de deux mètres, même si le calcul est parfois forcé en dessous de cette cible lorsque les mesures du RPA près de la surface semblent non fiables.

2. La valeur du coefficient d'atténuation de la lumière $K_{d\text{-}Secchi}$ tirée des observations faites à l'aide d'un disque de secchi a été calculée en utilisant :

$$K_{d_secchi} = 1{,}44/Z_{ps}\ (m^{-1})$$

où Z_{ps} = profondeur (en m) à laquelle le disque de secchi disparaît de la vue (Holmes 1970).

La profondeur de la zone euphotique (Z_{eu}) a été estimée en utilisant l'expression suivante :

$$Z_{eu}\ (m) = 4{,}6 / K_d$$

Variables intégrées verticalement

Les inventaires intégrés de la chlorophylle et des éléments nutritifs ont été calculés pour divers intervalles de profondeurs (p. ex., de 0 à 100 m pour la chlorophylle, et de 0 à 50 m ou de 50 à 150 m pour les éléments nutritifs) en utilisant l'intégration numérique trapézoïdale. La limite inférieure de l'intégration a été établie conformément à la profondeur maximale à une station donnée (p. ex., 150 m pour Halifax-2 et 95 m pour Prince-5). Les données à la surface (0 m) étaient la valeur échantillonnée le plus près de la surface. Les données à la profondeur la plus basse étaient :

1. la valeur interpolée lorsque l'échantillonnage était effectué sous la limite inférieure d'intégration;
2. la valeur échantillonnée dans les eaux profondes les plus proches lorsque l'échantillonnage était effectué dans des eaux moins profondes que la limite inférieure de l'intégration.

Groupes taxonomiques de phytoplancton

L'abondance et la composition taxonomique du phytoplancton aux stations d'échantillonnage à haute fréquence ont été estimées d'après des aliquotes regroupées d'eau prélevée dans la couche supérieure de 100 m en utilisant la technique de Utermöhl.

On a mesuré la composition des pigments en utilisant la chromatographie liquide à haute performance (CLHP) sur des échantillons d'eau de la surface (à des profondeurs s'échelonnant entre 1 et 5 m) en tant qu'indicateur de la biomasse des groupes taxonomiques de phytoplancton. La composition et la concentration des pigments du phytoplancton représentent un indicateur de premier ordre de la structure de la communauté de phytoplancton, malgré la présence possible d'un pigment donné dans plusieurs groupes taxonomiques. On a utilisé les concentrations absolues plutôt que la contribution relative par comparaison avec la chlorophylle a pour obtenir de l'information sur la biomasse. Dans le présent document, la démarche prudente qui consiste à associer un groupe taxonomique donné à son marqueur pigmentaire a été utilisée comme permettant d'évaluer la biomasse des groupes taxonomiques.

- Diatomées : fucoxanthine
- Dinoflagellés : péridinine
- Nanoflagellés : 19'-Hexanoyloxyfucoxanthine et 19-butanoyloxyfucoxanthine
- Cryptophytes : alloxanthine
- Cyanobactéries et prochlorophytes : zéaxanthine

En outre, les concentrations de la chlorophylle **b** ont été utilisées comme marqueur des groupes du picophytoplancton autres que les cyanobactéries et les prochlorophytes.

TÉLÉDÉTECTION PAR SATELLITE DE LA COULEUR DE L'OCÉAN

La chlorophylle près de la surface a également été estimée à partir de données sur la couleur de l'océan recueillies par le capteur satellitaire Sea-viewing Wide Field-of-view (SeaWiFS)[1] lancé par la Aeronautics and Space Administration (NASA) à la fin de l'été 1997, le capteur « Aqua » du Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)[2] lancé par la NASA en juillet 2002 et le capteur de la Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS)[3] lancé par la NASA et la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) en octobre 2011. Dans le présent document, les données recueillies par le capteur SeaWiFS entre janvier 1998 et décembre 2007, les données recueillies par le capteur MODIS entre janvier 2008 et décembre 2011 et les données recueillies par le capteur de la VIIRS entre janvier 2012 et décembre 2016 ont été combinées pour que l'on puisse construire une série chronologique composite de la chlorophylle à la surface dans des sous-régions choisies (figure 4). Des statistiques de base (moyenne, écart-type) ont été extraites des composites semi-mensuels pour des fins de visualisation du cycle annuel et de la variabilité interannuelle de la chlorophylle à la surface pour les sous-régions (*p. ex.*, figure 19). Les caractéristiques des floraisons printanières (p. ex., figure 20) ont été estimées à partir des données hebdomadaires recueillies par satellite reposant sur un modèle de la fonction de Gauss déplacée en fonction du temps (Zhai *et al.* 2011). Quatre mesures ont été calculées pour décrire les caractéristiques de la floraison printanière : la date de début (jour de l'année), la durée du cycle (en jours), l'ampleur (l'intégrale de la concentration en chlorophylle sous la courbe de Gauss) et l'amplitude (concentration de chlorophylle maximale moins la concentration de fond).

FEUILLES DE NOTATION

Des feuilles de notation des principaux indices, reposant sur des anomalies annuelles normalisées et rajustées pour tenir compte de la saison, représentent les observations physiques, chimiques et biologiques selon un format compact. Les estimations annuelles des inventaires des éléments nutritifs, de la chlorophylle et de l'abondance moyenne des principales espèces de zooplancton dans la colonne d'eau aux stations d'échantillonnage à haute fréquence et en tant que moyenne globale le long de chacune des quatre sections standards reposent sur des modèles linéaires généraux (GLM, équipe de base R 2017) de la formule :

$$\ln(Density) = \alpha + \beta_{YEAR} + \delta_{MONTH} + \varepsilon \text{ pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence}$$

$$\ln(Density) = \alpha + \beta_{YEAR} + \delta_{STATION} + \gamma_{SEASON} + \varepsilon \text{ pour les sections}$$

La *densité*, exprimée en unités de m^{-2} (ou L^{-1} pour l'abondance du microplancton), α est le point d'intersection et ε représente l'erreur. Pour les stations d'échantillonnage à haute fréquence, β et δ sont des effets catégoriques pour l'année et pour le mois, respectivement. Pour les sections, β, δ et γ tiennent compte de l'effet de l'année, de la station et de la saison, respectivement. La *densité*, ou l'abondance du zooplancton ou du microplancton, a fait l'objet d'une transformation logarithmique du fait de la distribution asymétrique des observations, et

---

[1] Tandis que la mission du SeaWiFS a pris fin en décembre 2010, l'information à propos du capteur SeaWiFS peut être consultée en visitant la page Web NASA's OceanColor Web SeaWiFS (visitée le 9 mai 2017).

[2] De l'information supplémentaire à propos du capteur MODIS peut être consultée en visitant la page Web NASA's OceanColor Web MODIS (visitée le 9 mai 2017).

[3] De l'information supplémentaire à propos du capteur de la VIIRS peut être consultée en visitant la page Web NASA's OceanColor Web VIIRS-SNPP (visitée le 9 mai 2017).

une valeur a été ajoutée à l'expression de la densité pour inclure les observations couplées avec une valeur nulle de la *densité*. Les inventaires moyens intégrés des éléments nutritifs, de la chlorophylle et de la biomasse du zooplancton n'ont pas fait l'objet de transformations logarithmiques. On a utilisé une estimation des moyennes des moindres carrés reposant sur des sommes de carrés de type III (Lenth 2017) comme mesure de l'effet global de l'année.

Un ensemble d'indices standard représentant les anomalies dans la disponibilité des éléments nutritifs, la biomasse du phytoplancton et l'abondance des espèces et des groupes de copépodes dominants (*C. finmarchicus*, *Pseudocalanus* spp., copépodes totaux, total des non-copépodes) est produit pour chacune des régions visées par le PMZA, y compris la région des Maritimes. Pour que l'on puisse visualiser les profils de la variation environnementale à l'échelle du plateau de l'Atlantique Nord-Ouest, le document publié par le MPO en 2017 présente une feuille de notation par zone comprenant des observations provenant de toutes les régions visées par le PMZA.

ACCÈS AUX PRODUITS DE DONNÉES

Les produits de données présentés aux figures 6, 8, 10, 11, 15 à 18 et 22 à 31 ont été publiés sur le site Web du gouvernement ouvert du gouvernement du Canada (Données ouvertes).

ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON

Le dispositif utilisé pour l'enregistrement en continu du plancton est un instrument qui est remorqué par des navires commerciaux et qui collecte du plancton à une profondeur d'environ sept mètres sur un long ruban de soie continu (dont la taille de maille mesure environ 260 µm). La position sur la soie correspond à l'emplacement des différentes stations d'échantillonnage. Les données recueillies à l'aide du dispositif ont été analysées pour que l'on puisse détecter les différences dans les indices de surface du phytoplancton (couleur et abondance numérique relative) et l'abondance relative du zooplancton pour différents mois, années ou décennies dans l'Atlantique Nord-Ouest. Les indices indiquent des changements relatifs au chapitre de la concentration (Richardson *et al.* 2006). Les méthodes d'échantillonnage utilisées depuis les premiers relevés effectués dans l'Atlantique Nord-Ouest (1960 pour le plateau continentale) et jusqu'à aujourd'hui sont exactement les mêmes, de sorte que l'on peut faire des comparaisons valides entre les années et les décennies.

Les routes suivies pour les traits de chalut entre Reykjavik et le golfe du Maine ont été divisées en huit régions : l'ouest du plateau néo-écossais, l'est du plateau néo-écossais, le sud du plateau de Terre-Neuve, le plateau de Terre-Neuve et quatre régions dans la zone du tourbillon océanique subpolaire de l'Atlantique Nord-Ouest, lesquelles sont divisées en portions de cinq degrés de longitude (figure 5). Seules les données collectées à l'aide du dispositif d'enregistrement en continu du plancton sur le plateau néo-écossais depuis 1992 sont consignées dans le présent document, car elles sont comparables aux résultats des relevés effectués dans le cadre du PMZA, qui remontent à 1999. Les données collectées à l'aide du dispositif d'enregistrement en continu du plancton sur le plateau de Terre-Neuve (régions du sud du plateau de Terre-Neuve et du plateau de Terre-Neuve) sont présentées dans les rapports annuels du PMZA, tandis que les données collectées dans toutes les régions et pour toutes les décennies (incluant les quatre régions du tourbillon océanique subpolaire à l'est du 45° °O) sont présentées dans les rapports annuels du Programme de monitorage de la zone Atlantique au large du plateau continental (PMZAO). La consignation des données collectées à l'aide du dispositif d'enregistrement en continu accuse un an de retard par rapport aux rapports du PMZA. Les données collectées à l'aide de cet instrument entre les mois de janvier et de décembre 2015 ont été reçues en décembre 2016 et ajoutées à l'archive des données du MPO. En 2015, on a effectué un échantillonnage à l'aide du dispositif d'enregistrement en continu du

plancton durant seulement sept mois sur l'ouest du plateau néo-écossais et durant seulement cinq mois sur l'est du plateau néo-écossais.

Les abondances mensuelles de 14 taxons (transformées en $\log_{10}(N+1)$) et l'indice de la couleur du phytoplancton, une mesure semi-quantitative de l'abondance totale du phytoplancton, ont été calculées en faisant la moyenne des valeurs pour tous les échantillons individuels prélevés dans les régions de l'ouest ou de l'est du plateau néo-écossais pour chaque mois et chaque année visés par l'échantillonnage. On a obtenu les cycles saisonniers climatologiques en calculant la moyenne de ces moyennes mensuelles pour la période s'échelonnant entre 1992 et 2010, et ces moyennes ont été comparées avec les valeurs enregistrées en 2015 pour trois indices de l'abondance du phytoplancton et pour les taxons des espèces de *Calanus* aux stades I-IV et *C. finmarchicus* aux stades V-VI. Les anomalies annuelles de l'abondance ont été calculées pour les années durant lesquelles on a effectué un échantillonnage sur huit mois ou plus, et lorsqu'il n'y avait pas de lacunes dans l'échantillonnage durant trois mois consécutifs au moins. Comme ces critères n'ont pas été remplis dans aucunes régions du plateau néo-écossais en 2015, les anomalies annuelles de l'abondance n'ont pu être calculées. Pour les années où l'on enregistrait un écart de un ou deux mois, on a utilisé l'interpolation linéaire pour établir des valeurs pour les mois manquants.

OBSERVATIONS

MÉLANGE ET PROPRIÉTÉS OPTIQUES

À la station d'Halifax-2, la profondeur de la courbe de mélange est plus importante et la stratification est moindre durant les mois d'hiver, lorsque la chaleur à la surface est faible et lorsque le mélange induit par le vent est important (figure 6). Au printemps, la profondeur de la couche de mélange sur les hauts-fonds affiche des valeurs minimales entre les mois de juin et d'août, et des valeurs plus élevées durant les quatre derniers mois de l'année. De façon semblable, la stratification augmente au printemps pour atteindre des valeurs maximales au mois d'août et au mois de septembre, puis décline durant les mois d'automne. En 2016, la profondeur de la couche de mélange à la station d'Halifax-2 suivait le cycle annuel habituel, avec une plus grande variabilité observée durant les mois d'hiver et de printemps, des valeurs proches des données climatologiques durant les mois d'été et un mélange plus faible que la normale durant les mois d'automne (figure 6). La stratification était, pour la plus grande partie, inférieure à la normale à la station d'Halifax-2 durant l'hiver et le printemps 2016, et pour la plus grande partie supérieure à la normale durant les mois d'été et au début de l'automne.

À la station de Prince-5, la profondeur de la couche de mélange est habituellement plus importante et plus variable, et la stratification est inférieure à celle observée à la station d'Halifax-2 en raison d'un fort mélange dû aux marées. L'indice de stratification demeure normalement faible (en deçà de 0,01 kg/m^4) sur la plus grande partie de l'année, et la profondeur de la couche de mélange varie d'une profondeur quasi complète (90 m) en hiver pour s'établir à environ 40 m en été (figure 6). En 2016, les profondeurs de la couche de mélange se situaient près de la normale durant les mois d'hiver, mais étaient notablement plus importantes que la normale durant les mois de printemps et d'automne et moins importantes que la normale en juillet et en août. L'indice de stratification à la station de Prince-5 affichait principalement des valeurs faibles habituelles en 2016, avec une stratification inférieure à la normale durant les mois de printemps et d'automne et légèrement supérieure à la normale en juillet et en août, ce qui concorde avec les observations d'une couche de mélange durant ces mois.

Les épisodes venteux observés durant les mois d'hiver et de printemps à l'aéroport d'Halifax, une zone servant d'indicateur pour la station d'Halifax-2, pourraient avoir contribué à la variabilité observée de la profondeur de la couche de mélange à la station d'Halifax-2 durant ces mois. Les rafales de vent moins puissantes observées à l'aéroport d'Halifax à la fin du mois de janvier et au milieu du mois de mars (figure 7) semblent être associées avec une diminution temporaire de la profondeur marine de la couche de mélange observée à la station d'Halifax-2 (figure 6) durant les dates d'échantillonnage du 3 février et du 11 mars, respectivement. Les observations du vent à Grand Manan, une zone servant d'indicateur pour la station de Prince-5, suivaient étroitement le profil climatologique tout au long de l'année, ce qui laisse penser que les profondeurs de la couche de mélange en très grande partie plus importantes que la normale observées à la station de Prince-5 étaient plus vraisemblablement dues aux marées qu'aux vents.

L'atténuation maximale de la lumière et les profondeurs moindres de la zone euphotique coïncident normalement avec la floraison printanière de phytoplancton, et les profondeurs de la zone euphotique sont généralement plus importantes après la diminution des floraisons durant les mois d'hiver. Les profondeurs de la zone euphotique reposant sur la mesure du RPA et sur des mesures prises à l'aide du disque de secchi semblaient légèrement inférieures ou près des valeurs normales tout au long de l'année à la station d'Halifax-2 en 2016 (figure 8). À la station d'Halifax-2, les profondeurs de la zone euphotique estimées à partir de mesures du RPA étaient en général moins profondes que celles estimées à partir de mesures de la profondeur de secchi. Malheureusement, nous n'avons pas pu estimer les profondeurs de la zone euphotique associées à la floraison printanière du phytoplancton à la station d'Halifax-2 en raison de faibles niveaux de la lumière au moment de la prise de mesures.

À la station de Prince-5, les profondeurs de la zone euphotique sont relativement constantes tout au long de l'année, car le facteur d'atténuation principal est la matière inerte suspendue résultant de l'action des marées et d'un apport en eau douce provenant du continent. En 2016, les profondeurs de la zone euphotique mesurées à partir du RPA et à l'aide du disque de secchi suivaient principalement les valeurs climatologiques enregistrées tout au long de l'année (figure 8). L'estimation de la profondeur de la zone euphotique reposant sur des mesures du RPA pour le mois d'octobre peut vraisemblablement être attribuée en partie au coefficient d'atténuation qui est calculé sur une couche d'eau peu profonde, car les mesures de la lumière en deçà de 25 m n'étaient pas fiables. Cependant, l'estimation reposant sur l'utilisation du disque de secchi faisait aussi état de valeurs légèrement moins profondes que la normale durant le mois d'octobre.

ÉLÉMENTS NUTRITIFS

Les principaux éléments nutritifs inorganiques dissous (nitrates, silicates, phosphates) mesurés dans le cadre du PMZA covarient fortement dans l'espace et dans le temps (Petrie *et al.* 1999). Pour cette raison, et comme la disponibilité de l'azote est le plus souvent associée avec des limitations de la croissance du phytoplancton dans les eaux côtières de la région des Maritimes (MPO 2000), le présent rapport met l'accent principalement sur les profils de variabilité des nitrates, l'information sur les concentrations de silicates et de phosphates étant présentée principalement pour aider à interpréter la succession des groupes taxonomiques de phytoplancton aux stations d'Halifax-2 et de Prince-5.

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

À la station d'Halifax-2, les concentrations de nitrates à la surface les plus élevées sont observées en hiver, lorsque la colonne d'eau est bien mélangée et lorsque la production primaire est faible (figure 9). Des déclins dans les concentrations de nitrates à la surface sont

observés au moment du début de la floraison printanière du phytoplancton, et les concentrations de nitrates à la surface les plus faibles sont observées entre la fin du printemps et le début de l'automne. Les concentrations de nitrates dans les eaux profondes sont les plus faibles à la fin de l'automne et au début de l'hiver, et augmentent entre les mois de février et d'août, reflétant peut-être la sédimentation et la décomposition du phytoplancton ayant proliféré au printemps (Petrie et Yeats 2000).

L'inventaire des nitrates à la surface à la station d'Halifax-2 en 2016 affichait des valeurs légèrement inférieures à la normale durant les mois de printemps et d'été, et bien en deçà de la normale durant les mois d'automne (figure 10), ce qui correspond à une profondeur légèrement plus importante que la nitracline normale durant l'été et avec une période d'épuisement des nitrates à la surface plus longue que la normale durant l'automne (figure 9). Les inventaires des nitrates se trouvant en profondeur à la station d'Halifax-2 en 2016 étaient variables durant les mois d'hiver et de printemps, mais demeuraient en général inférieurs à la normale durant la fin de l'été et la fin de l'automne (figure 10). Ces modifications reflètent vraisemblablement des changements dans les masses d'eau profondes présentes à la station, avec des concentrations en nitrates plus faibles associées avec les eaux plus froides et plus douces de la pente du Labrador (Hebert *et al.* 2018). Certaines caractéristiques intéressantes de la dynamique des éléments nutritifs à la station d'Halifax-2 en 2016 étaient les concentrations en nitrates à la surface relativement faibles tôt durant l'année (janvier) et les impulsions d'eau profonde riche en éléments nutritifs observées durant les mois de février et mars (figure 9). Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle concernant les nitrates à la surface était négative en raison de concentrations à la surface en deçà de la normale durant les mois de printemps, d'été et d'automne, et l'anomalie annuelle concernant les nitrates en profondeur était également légèrement négative du fait d'inventaires en deçà de la normale durant l'été et l'automne (figure 11). Les anomalies annuelles concernant les phosphates et les silicates à la surface et en profondeur à la station d'Halifax-2 en 2016 étaient également négatives, tout comme les anomalies concernant les nitrates (figure 11).

À la station de Prince-5, les concentrations de nitrates les plus élevées sont observées à la fin de l'automne et en hiver, lorsque la colonne d'eau est bien mélangée depuis la surface jusqu'au fond (figure 9). Les concentrations de nitrates commencent à décliner dans le haut de la colonne d'eau lorsque les floraisons printanières de phytoplancton débutent au mois d'avril, et les concentrations de nitrates à la surface les plus faibles sont observées en juin et en juillet. En 2016, les inventaires des nitrates à la surface étaient inférieurs à la une grande partie de l'année (figure 10), avec un épuisement des nitrates à la surface survenant plus tôt que d'habitude (figure 9). L'inventaire des nitrates en profondeur était également légèrement inférieur à la une grande partie de l'année (figure 9). Dans l'ensemble, les anomalies annuelles concernant les inventaires des nitrates à la surface et au fond étaient négatives à la station de Prince-5 en 2016 (figure 11). Les anomalies concernant les silicates et les phosphates à la surface et au fond étaient également négatives à la station de Prince-5 en 2016 (figure 11), tandis que l'anomalie concernant les phosphates au fond était près de la normale.

Relevés à vaste échelle

Les concentrations les plus élevées de nitrates dans les sections sont observées dans les eaux profondes de la pente du plateau néo-écossais, dans le détroit de Cabot et dans les eaux profondes du bassin d'Émeraude au printemps et en automne (figure 12a, b). Les concentrations de nitrates à la surface dans les sections dépendent fortement du moment de l'échantillonnage par rapport au moment de la floraison printanière du phytoplancton. Au printemps 2016, la section située au large de Louisbourg affichait un épuisement des nitrates à la surface (figure 12a; les stations intérieures n'étant pas échantillonnées). Par contraste, dans

la section du banc de Browns, l'épuisement des nitrates à la surface n'était observé qu'aux stations intérieures, les stations en mer ouverte affichant des concentrations de nitrates à la surface relativement élevées (figure 12a). Dans la section d'Halifax, l'épuisement des nitrates à la surface était observé aux stations côtières, tandis que les concentrations de nitrates mesurées aux stations en mer ouverte étaient faibles, mais ne montraient pas de signes d'épuisement (figure 12a). Dans la section du détroit de Cabot, les éléments nutritifs à la surface étaient épuisés. Ces conditions reflètent celles enregistrées durant l'échantillonnage postérieur à la floraison printanière dans les détroits de Cabot et dans les sections de Louisbourg, de la côte d'Halifax et du banc de Browns. Durant la mission d'automne, les concentrations de nitrates près de la surface s'établissaient à des valeurs minimales dans l'ensemble de la région, avec une profondeur de la nitracline passablement uniforme le long de chaque section (figure 12b). Les anomalies concernant les nitrates étaient variables sur le plan spatial entre les sections à l'automne 2016 (figure 12b), bien que des anomalies uniformément négatives aient été observées dans l'ensemble de la colonne d'eau aux stations du large de la section du banc de Browns. Dans l'ensemble, les anomalies annuelles des inventaires de nitrates dans les eaux profondes étaient négatives pour trois des quatre sections, et les anomalies annuelles concernant les inventaires de nitrates à la surface étaient mixtes (figure 11). Les inventaires des silicates et des phosphates à la surface et en profondeur se situaient sous la moyenne dans toutes les sections en 2016, comme cela a été le cas général depuis 2013 (figure 11).

Les concentrations de nitrates au fond mesurées durant les relevés au chalut de l'écosystème effectués à l'été (de la fin juin à la mi-août) affichaient des anomalies principalement négatives sur la partie est du plateau néo-écossais, sur la partie sud-ouest du plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine. Les anomalies positives les plus notables étaient observées dans la partie ouest de l'est du plateau néo-écossais autour de l'île de Sable et sur le banc Western, sur la côte ouest du plateau néo-écossais (South Shore, banc Roseway et banc de LaHave) et dans la baie de Fundy (figure 13).

Les niveaux de saturation en oxygène les plus faibles sont habituellement observés dans les bassins profonds et les eaux profondes de la pente, où les éléments nutritifs affichent les niveaux les plus élevés. En juillet 2016, des valeurs de la saturation en oxygène au fond inférieures à 60 % ont été enregistrées principalement dans les bassins profonds du centre du plateau néo-écossais et autour de ceux-ci (figure 14), où les eaux du fond étaient plus chaudes que la normale (Hebert *et al.* 2018).

PHYTOPLANCTON

Bien que la variabilité temporelle et spatiale du phytoplancton soit élevée dans les eaux côtières et les eaux du plateau, des profils annuels récurrents, y compris des floraisons printanières de phytoplancton prononcées et des floraisons de moindre importance en automne sont observés sur l'ensemble du plateau néo-écossais. On estime que le moment du début de la floraison printanière est régulé principalement par l'environnement lumineux, qui est déterminé par l'éclairement énergétique incident et le mélange dans la couche supérieure de l'océan. On pense que l'ampleur des floraisons est régulée en grande partie par l'apport en éléments nutritifs, et la durée des floraisons serait régulée par l'apport en éléments nutritifs et, secondairement, par des processus de perte comme l'enfoncement d'agrégations et le broutage par le zooplancton (Johnson *et al.* 2012).

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

En 2016, la floraison printanière à la station d'Halifax-2 était caractérisée par un début retardé, une durée plus brève et une intensité inférieure à la normale (figure 15). La floraison était

limitée à la couche supérieure de 50 m de la colonne d'eau, ce qui est cohérent avec les observations de couche mélangée faites au mois d'avril (figure 6). La floraison printanière était essentiellement dominée par les diatomées (figure 16). Un niveau maximal de la chlorophylle à la subsurface durant l'été bien défini centré aux alentours de 20 m a été observé au mois de juillet et n'a perduré que durant quelques semaines (figure 15). La floraison automnale du phytoplancton était tardive, relativement intense et profonde, et a persisté entre le milieu du mois d'octobre et jusqu'à la fin du mois de novembre. Bien que des anomalies positives concernant la chlorophylle intégrée à des profondeurs s'échelonnant entre 0 et 100 m étaient observées en été et en automne, l'anomalie annuelle globale de la chlorophylle intégrée à la station d'Halifax-2 était négative en 2016 (figure 17). L'anomalie concernant l'abondance des diatomées était également négative en 2016, ce qui est en très grande partie cohérent avec une tendance qui a débuté en 2009, alors que les anomalies concernant l'abondance des dinoflagellés, des ciliates (microzooplancton) et des flagellés étaient positives ou près de la normale en 2016 (figure 18). L'abondance globale du phytoplancton était particulièrement faible à la fin du printemps et à la fin de l'été et au début de l'automne (figure 16). La composition de la communauté de phytoplancton en été affichait une abondance relative des diatomées inférieure à la normale et des abondances relatives de flagellés supérieures à la normale, ce qui est possiblement relié au maximum des niveaux de chlorophylle à la subsurface (figure 15) et à une stratification plus importante (figure 6).

La floraison printanière de phytoplancton à la station de Prince-5 en 2016 a débuté légèrement plus tard que d'habitude, mais a affiché un pic de l'intensité précoce (figure 15). Les concentrations de chlorophylle observées durant la floraison printanière étaient proches des niveaux normaux, mais ont persisté pendant une durée légèrement plus brève que la normale et étaient limitées à la couche supérieure d'environ 40 m de la colonne d'eau (figure 15). L'abondance du phytoplancton était supérieure à la normale durant les floraisons du printemps, de l'été et de l'automne, mais autrement inférieures à la normale (figure 16). Les floraisons printanières et automnales étaient toutes deux dominées par les diatomées (figure 16). La floraison estivale-automnale du phytoplancton a duré légèrement plus longtemps que la normale, avec un pic des concentrations se produisant plus tard que d'habitude, soit en septembre plutôt qu'au mois d'août (figure 15). Les concentrations maximales de chlorophylle durant la floraison estivale-automnale étaient semblables à la normale, mais l'étendue verticale de la floraison était plus profonde que la normale, car elle a atteint son pic au mois de septembre, ce qui coïncide avec un retour de la profondeur de la couche de mélange à des valeurs plus élevées que la normale, lequel a entraîné un niveau de chlorophylle intégrée plus élevé que la normale dans la couche s'échelonnant entre 0 et 95 m. Des concentrations de chlorophylle à la surface supérieures à la normale ont également été observées au mois de novembre. La communauté de phytoplancton à la station de Prince-5 est normalement dominée toute l'année par les diatomées, mais l'abondance relative de ces organismes était plus faible que la normale durant les périodes de floraison estivales-automnales, durant lesquelles l'abondance relative des dinoflagellés et des ciliates (en été et au début de l'automne) et des flagellés (à l'automne) était supérieure à la normale (figure 16). Dans l'ensemble, l'anomalie annuelle de la chlorophylle intégrée à la station de Prince-5 était près de la normale en 2016 (figure 17). L'anomalie concernant l'abondance des diatomées était négative en 2016, une condition qui a persisté durant les huit dernières années, alors que les anomalies concernant l'abondance des dinoflagellés, des ciliates et des flagellés étaient positives ou près de la normale en 2016, ce qui est cohérent avec un profil qui a débuté en 2011 (figure 18).

Relevés à vaste échelle et télédétection par satellite

Les estimations de la chlorophylle reposant sur des données de télédétection par satellite indiquent que le début de la floraison printanière survenait de façon plus précoce que la

normale dans les sous-régions du détroit de Cabot, de l'est du plateau néo-écossais et du banc de Georges en 2016 (figure 19a, b, 20). Dans les sous-régions du centre et de l'ouest du plateau néo-écossais, le début des floraisons printanière a été légèrement retardé. Cependant, le moment du début de la floraison dans l'ouest du plateau néo-écossais d'après le modèle rajusté (figure 20) semble contredire cette observation (figure 19b), ce qui donne à penser qu'il existe une sursensibilité du modèle à l'augmentation initiale de la chlorophylle à la surface dans le contexte d'une floraison printanière faible et variable. La durée de la floraison printanière était plus longue que la normale dans le centre de la pente et dans l'est du plateau néo-écossais et plus brève que la normale dans le centre et dans l'ouest du plateau néo-écossais en 2016 (figure 19a, b, 20). Pour ce qui est de l'ouest du plateau néo-écossais, la durée de la floraison d'après le modèle rajusté (figure 20) contredit la durée établie grâce à l'examen visuel des données de télédétection par satellite (figure 19b) en raison d'une estimation du début de la floraison grâce au modèle qui serait trop précoce.

L'amplitude de la floraison printanière (par exemple, le pic de l'intensité) était près de la normale dans le centre de la pente et dans l'est du plateau néo-écossais et plus brève que la normale dans le centre et dans l'ouest du plateau néo-écossais et sur le haut-fond Lurcher en 2016 (figure 19a, b, 20). L'ampleur de la floraison printanière, qui est une mesure de l'intensité et de la durée de la floraison, était au-dessus de la normale dans le centre de la pente et près de la normale dans l'est du plateau néo-écossais et sur les Grands Bancs en 2016 (figure 20), du fait des conditions de floraison relativement intense et durable qui ont prévalu dans ces régions. Inversement, l'ampleur de la floraison était plus faible que la normale dans le centre et l'ouest du plateau néo-écossais et sur le haut-fond Lurcher en 2016 (figure 20) en raison d'une amplitude relativement faible et brève de la floraison.

Le profil général de la floraison printanière (c.-à-d. un début tardif, une durée brève et une faible intensité) observé dans la sous-région du centre du plateau néo-écossais correspondait aux caractéristiques de la floraison observées *in situ* à la station d'Halifax-2 en 2016 (figure 15, 19a). La variabilité annuelle faible de la chlorophylle à la surface dans la sous-région du haut-fond Lurcher, où les eaux sont mélangées par les marées, est telle qu'il est difficile de discerner les conditions de la floraison et, ainsi, les différentes mesures de la floraison doivent être interprétées avec précaution. Dans toutes les sous-régions, l'intensité de la floraison automnale était inférieure à la normale en 2016 (figure 19a, b).

Les anomalies annuelles dans les estimations de la chlorophylle intégrée d'après les mesures *in situ* étaient négatives dans toutes les sections en 2016 (figure 17). Les anomalies annuelles de la biomasse des diatomées étaient également légèrement négatives dans toutes les sections (figure 21), ce qui est conforme aux attentes selon lesquelles les diatomées représenteraient une partie importante de la biomasse totale. Les anomalies de la biomasse des dinoflagellés affichaient des signes mixtes en 2016, l'anomalie négative la plus importante étant observée dans la section de Louisebourg, et l'anomalie positive la plus importante étant observée dans la section du détroit de Cabot. Les anomalies de la biomasse des nanoflagellés étaient négatives dans toutes les sections, prolongeant une tendance que l'on a commencé à observer en 2008-2009. Les anomalies de la biomasse des cryptophytes, qui sont des cellules de nanoplancton, étaient mixtes, avec des valeurs négatives enregistrées dans les sections du détroit de Cabot et de Louisbourg, et une valeur positive enregistrée dans la section d'Halifax, où des valeurs positives ont été observées depuis 2012. Les anomalies de la biomasse des chlorophytes (c.-à-d. les algues vertes) étaient positives dans toutes les sections, à l'exception de la section de Louisbourg, en 2016. Enfin, les anomalies de la biomasse des cyanobactéries et des prochlorophytes (c.-à-d. picoplancton) étaient négatives pour toutes les sections, à l'exception de la section du détroit de Cabot. Sauf en ce qui concerne le déclin continu des nanoflagellés

au cours des quatre à cinq dernières années, aucun autre groupe de phytoplancton n'a affiché un niveau présentant une tendance claire sur le plateau néo-écossais.

ZOOPLANCTON

Stations d'échantillonnage à haute fréquence

À la station d'Halifax-2, la biomasse et l'abondance totale du zooplancton étaient habituellement les plus faibles en janvier et en février et augmentaient jusqu'à atteindre des valeurs maximales au mois d'avril, ce qui est semblable au moment du pic de la floraison printanière du phytoplancton, avant de décliner à nouveau à l'automne à de faibles niveaux (figures 22 et 23). En 2016, la biomasse du zooplancton à la station d'Halifax-2 était principalement inférieure à la normale tout au long de l'année, sauf durant les pics transitoires enregistrés à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril et au début du mois d'août et en décembre (figure 22). L'abondance totale du zooplancton était hautement variable à la station d'Halifax-2 et affichait un profil semblable, avec des abondances supérieures à la normale enregistrées aux alentours des périodes de biomasse importante du zooplancton, bien que les pics de l'abondance étaient moins clairement définis que les pics de la biomasse (figure 23). La communauté du zooplancton était fortement dominée par des copépodes tout au long de l'année, comme cela est habituel à la station d'Halifax-2 (figure 23), bien qu'une impulsion significative du groupe Cnidaria-Appendicularia (constitué principalement de *Frittilaria* [Appendicularia]) ait été observée durant la brève période de floraison printanière du phytoplancton (à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril).

L'abondance de *Calanus finmarchicus* à la station d'Halifax-2 était principalement inférieure à la normale tout au long de l'année 2016, sauf pour ce qui est des anomalies positives transitoires qui ont été observées à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril ainsi qu'à la fin du mois de novembre, et était près de la normale à la fin du mois de juillet et au début du mois d'août (figure 24). Le pic de la production printanière de *C. finmarchicus*, qui est habituellement caractérisé par une abondance élevée de *Calanus* et par une abondance relative élevée des organismes aux stades copépodites I à IV, était inhabituel. La production semblait débuter plus tôt que d'habitude, en février, mais la période brève de pic de l'abondance à la fin du mois de mars coïncidait avec une diminution de l'abondance relative des organismes aux stades copépodites I à III. Le pic de l'abondance relative des organismes aux stades copépodites I à IV enregistré en avril et au début du mois de mai était plus bref que d'habitude. On a observé un pic de production automnale légèrement plus prononcé que d'habitude, caractérisé par une impulsion d'organismes aux stades copépodites I à IV, et une abondance plus faible que la normale des organismes au stade copépodite V (figure 24).

L'abondance totale des copépodes à la station d'Halifax-2 en 2016 était hautement variable, avec des niveaux d'abondance maximale atteints à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril, à la fin du mois de juillet et au début du mois d'août et au mois de décembre (figure 25a). La communauté des copépodes était caractérisée par une abondance relative plus faible que la normale de *C. finmarchicus* en hiver et à la fin de l'été. L'abondance relative du copépode du large *Oithona atlantica* était supérieure à la normale tout au long de l'année, les copépodes d'eau chaude *Paracalanus* spp. et *Metridia lucens* étant relativement plus abondants à la fin de l'été et au début de l'automne, et au début de l'automne, respectivement (figure 25a). Des abondances plus élevées que la moyenne de *O. atlantica* ont été observées depuis 2009 (non représenté ici). Dans l'ensemble, à la station d'Halifax-2, en 2016, les anomalies annuelles de la biomasse du zooplancton, et de l'abondance de *C. finmarchicus* et *Pseudocalanus* spp. étaient négatives, et les anomalies concernant l'abondance totale des copépodes et des non-copépodes étaient positives (figure 17).

À la station de Prince-5, la biomasse et l'abondance totale du zooplancton étaient habituellement les plus faibles entre les mois de janvier et de mai et augmentaient jusqu'à atteindre des valeurs maximales entre les mois de juillet et de septembre, retardant la croissance du phytoplancton d'environ un mois, avant de décliner à nouveau à la fin de l'automne à de faibles niveaux (figures 22 et 23). En 2016, la biomasse du zooplancton était plus faible que la normale en hiver et au début du printemps et plus élevée que la normale en été et en automne (figure 22). De la même manière, l'abondance totale du zooplancton à la station de Prince-5 en 2016 était près de la normale en hiver et au printemps, et bien au-dessus de la normale en été et en automne (figure 23). La communauté du zooplancton était principalement dominée par les copépodes tout au long de l'année, sauf une abondance relative plus élevée que la normale des groupes Cnidaria and Appendicularia (constitués principalement de *Frittilaria* [Appendicularia], comme à la station d'Halifax-2) au printemps, une abondance relative plus faible que la normale des bivalves en été et une abondance relative légèrement supérieure d'autres groupes de non-copépodes (« autres ») tout au long de l'année (figure 23).

L'abondance de *C. finmarchicus* à la station de Prince-5 était principalement faible tout au long de l'année, notamment durant l'hiver, au début du printemps et en automne, mais l'on a observé un pic transitoire de l'abondance au mois de juillet (figure 24). L'abondance relative de *C. finmarchicus* au stade copépodite I a atteint un pic au mois de mai, lequel coïncidait avec la floraison printanière du phytoplancton, avec des pics aux stades copépodites II et III qui ont suivi en juin et en juillet. Une deuxième impulsion de ces organismes aux stades copépodites III et IV s'est produite à l'automne, probablement en réponse à un pic modéré du phytoplancton à l'automne. Une caractéristique très importante de la dynamique de *C. finmarchicus* à la station de Prince-5 en 2016 était l'absence complète de l'espèce durant l'échantillonnage du mois d'avril, ce qui est presque sans précédent.

Le cycle annuel affiché par l'abondance totale des copépodes à la station de Prince-5 en 2016 était semblable au cycle de l'abondance totale du zooplancton, c'est-à-dire qu'il était hautement variable, avec des abondances près de la normale enregistrées en hiver et au printemps, et bien au-dessus de la normale en été et en automne (figure 25b). La communauté des copépodes était caractérisée par la dominance des larves nauplius de copépode (« autres ») durant les mois du printemps, et les larves nauplius constituaient également une plus grande partie de la communauté en septembre et en décembre. Des abondances relatives plus faibles que la normale de *Pseudocalanus* spp. et de *Acartia* spp. et une abondance relative plus élevée que la normale de *Centropages* spp. étaient observées durant les mois d'été et d'automne. *Paracalanus* sp. affichait des niveaux d'abondance relative plus élevés que la normale durant l'automne. L'abondance relative de *C. finmarchicus* est demeurée plus faible que la normale tout au long de l'année 2016. Dans l'ensemble, à la station de Prince-5 en 2016, l'anomalie annuelle de l'abondance de *C. finmarchicus* était négative, et les anomalies de l'abondance de *Pseudocalanus* spp., de l'abondance totale des copépodes, de l'abondance des non-copépodes et de la biomasse du zooplancton étaient positives (figure 17).

Relevés à vaste échelle

La biomasse du zooplancton était inférieure à la normale au printemps 2016 dans les sections du détroit de Cabot, de Louisbourg et du banc de Browns, et légèrement supérieure à la normale dans la section d'Halifax, où les anomalies positives semblaient dériver d'une biomasse élevée aux stations se trouvant au large (figure 26). En automne, les niveaux de la biomasse étaient inférieurs à la normale dans toutes les sections, à l'exception de celle du banc de Browns, où on n'a pas pu évaluer la biomasse du zooplancton en raison d'un échantillonnage incomplet (une petite fraction était manquante) ou de la présence de salpes en

quantité massive (figure 26). Les niveaux de la biomasse du zooplancton étaient légèrement sous la normale sur le banc de Georges durant le relevé au chalut de l'écosystème de l'hiver 2016 et considérablement plus élevés que la normale durant le relevé au chalut de l'été 2016 sur le plateau néo-écossais (figure 27). Les anomalies annuelles principalement négatives de la biomasse du zooplancton en 2016 pour toutes les sections du plateau néo-écossais, à l'exception de la station d'Halifax, prolongeaient un profil de faible biomasse du zooplancton observé depuis 2010 (figure 17).

L'abondance de *C. finmarchicus* était près de la normale dans la section de Louisbourg, mais plus faible que la normale dans les sections du détroit de Cabot, d'Halifax et du banc de Browns au printemps 2016. L'anomalie pour la section d'Halifax au printemps 2016 était négative malgré des abondances élevées enregistrées sur le bord du plateau (figure 28). En automne, l'abondance de *C. finmarchicus* était plus faible que la normale dans toutes les sections, sauf dans celle d'Halifax, où l'anomalie positive était déclenchée par une abondance exceptionnellement élevée dans le bassin d'Émeraude (figure 28). L'abondance de *Calanus finmarchicus* était plus faible que la normale durant le relevé au chalut de l'écosystème hivernal sur le banc de Georges et près de la normale durant le relevé estival du plateau néo-écossais, avec des abondances relativement élevées enregistrées dans la partie ouest de la région (figure 29). Dans l'ensemble, les niveaux d'abondance faibles de *C. finmarchicus* en 2016 prolongeaient le profil général observé depuis 2011 (figure 17).

Les anomalies annuelles de l'abondance de *Pseudocalanus* spp. étaient négatives pour toutes les sections en 2016, à l'exception de la section de Louisbourg, où une anomalie positive a été enregistrée (figure 17). Des anomalies annuelles de l'abondance faiblement négatives étaient observées en 2016 pour l'abondance totale des copépodes dans toutes les sections, sauf dans celle de Louisbourg. Des anomalies annuelles positives étaient observées en 2016 pour les non-copépodes dans les quatre sections, prolongeant la tendance générale qui a commencé à se manifester en 2012. Parmi les dix groupes de non-copépodes les plus abondants, les anomalies de l'abondance étaient positives en 2016 et durant les dernières années pour les appendiculaires et les gastropodes pélagiques (qui se nourrissent de petites particules), ainsi que pour les bivalves, les échinodermes (méroplancton) et les amphipodes, et négatives pour les ostracodes (crustacés vivant en eau profonde) (figure 30). Les Thaliacées, un groupe moins fréquemment observé d'organismes qui se nourrissent de petites particules de façon opportuniste et dont l'occurrence a augmenté de façon marquée à l'automne 2012 et 2013, étaient de nouveaux observés à l'automne 2016. Les espèces de Thaliacées qui étaient observées en 2016 étaient principalement *Thalia democratica*, qui peut être présente dans des floraisons de densité élevée.

Espèces indicatrices

Les anomalies annuelles de l'abondance des espèces de *Calanus* arctiques (*C. hyperboreus* et *C. glacialis*) étaient négatives dans l'ensemble de la région en 2016, prolongeant ainsi une tendance qui a débuté en 2012 (figure 31). Les anomalies de l'abondance d'espèces de copépodes pélagiques d'eau chaude (*Clausocalanus* spp., *Mecynocera clausi*, et *Pleuromamma borealis)* étaient positives dans toutes les sections et aux stations d'échantillonnage à haute fréquence en 2016, prolongeant une tendance observée depuis 2012. Les anomalies de l'abondance des espèces de copépodes des eaux chaudes du plateau (les copépodes d'été/d'automne *Paracalanus* spp. et *Centropages typicus*) étaient positives dans toutes les sections, sauf dans celle du détroit de Cabot et dans les stations d'échantillonnage à haute fréquence en 2016. Les anomalies négatives de l'abondance dans la section du détroit de Cabot, et les anomalies positives de l'abondance à la station de Prince-5 correspondaient bien avec la tendance observée au cours des quatre dernières années à ces

emplacements, tandis qu'aucun profil commun n'a émergé pour les sections du plateau et la station d'Halifax-2 au cours des dernières années.

DISCUSSION

Les observations dérivées de la surveillance de l'océan en 2016 nous offrent de nouveaux éléments probants faisant état d'un changement des communautés de plancton sur le plateau néo-écossais depuis 2010, lequel changement est associé avec des températures océaniques supérieures à la moyenne, une stratification plus importante et une forte variabilité subannuelle de l'environnement physique. Diverses mesures ont affiché des anomalies principalement négatives au cours des dernières années, y compris les concentrations de silicates et de phosphates en profondeur depuis 2013, la biomasse du zooplancton depuis 2010, les abondances de diatomées et d'autres grandes espèces de phytoplancton depuis 2009, l'abondance de *C. finmarchicus* depuis 2011 et l'abondance des espèces de *Calanus* arctiques depuis 2012, tandis que les anomalies de l'abondance de copépodes et de non-copépodes des eaux chaudes de mer ouverte ont été principalement positives dans les parties centrales et occidentales de la région depuis 2012.

Le milieu océanique du plateau, dans la région des Maritimes, est caractérisé par une fréquence annuelle dominante vigoureuse de la variabilité de la température et de la stratification et par un gradient environnemental latitudinal et en travers duplateau élevé qui est associé à la transition entre des eaux plus froides et plus douces qui affichent une advection dans les eaux côtières de l'est du plateau néo-écossais depuis le golfe du Saint-Laurent et des eaux plus chaudes et plus salées de la pente, qui affichent une advection dans l'ouest et dans le centre du plateau néo-écossais (Hebert *et al.* 2018). Dans les régions océaniques où la variabilité environnementale à l'échelle annuelle est une fréquence dominante, le cycle de vie, le comportement et la physiologie du plancton reflètent des adaptations qui sont axées sur l'effort de reproduction au cours de moments favorables de l'année et qui réduisent au minimum l'exposition au risque à des moments défavorables; cependant, des perturbations non prévisibles dans la plage de la saisonnalité environnementale et dans les saisons peuvent bouleverser ces adaptations (Mackas *et al.* 2015). Des changements à vaste échelle des limites entre les masses d'eau ont également une incidence sur la composition des communautés locales de plancton (p. ex., Keister *et al.* 2011). Les discussions portant sur les changements dans les communautés de plancton traiteront de l'incidence de ces processus généraux.

Le cycle annuel habituel de la variabilité de la biomasse du phytoplancton sur le plateau néo-écossais comprend une floraison printanière dominée par les diatomées, et une floraison secondaire, de moindre ampleur, en été et en automne. La dynamique de la floraison du phytoplancton dans l'Atlantique tempéré subit l'incidence du cycle de stratification annuel de la colonne d'eau. On pense que le début de la floraison printanière est régulé par l'environnement lumineux du phytoplancton et par la température, et survient lorsque la colonne d'eau se stabilise à la fin de l'hiver et au début du printemps (Sverdrup 1953). Une floraison survient lorsque la croissance du phytoplancton outrepasse de façon considérable les pertes, comme celles qui sont dues au broutage et à la sedimentation (Behrenfeld et Boss 2014). La biomasse du phytoplancton décline après le pic de la floraison, lorsque le broutage augmente ou que la croissance devient limitée par les éléments nutritifs.

En 2016, la biomasse du phytoplancton était dans l'ensemble plus faible que la normale dans toute la région des Maritimes, tant d'après les relevés *in situ* que d'après les observations par satellite. De faibles niveaux de phytoplancton étaient associés à un changement dans la composition des pigments, indiquant que la biomasse des diatomées, des dinoflagellés et des nanoflagellés, tous des espèces de phytoplancton de grande taille (> ~ 5 μm), était plus faible

que la normale. Plusieurs processus pourraient avoir contribué à une faible biomasse du phytoplancton. Premièrement, la perturbation de la floraison résultant d'un forçage physique hautement variable en hiver pourrait avoir contribué à la brièveté et à la faiblesse de la floraison printanière. En 2016, la profondeur de la couche de mélange à la station d'Halifax-2 a affiché une forte variabilité en hiver, avec des épisodes d'approfondissement déclenchés par le vent à la fin du mois de février et à la fin du mois de mars et des épisodes de diminution de la profondeur au début du mois de mars. La diminution abrupt de la profondeur de la couche de mélange enregistrée au début du mois de mars à la station d'Halifax-2 était associée à un déclin rapide des nitrates, à l'exhaussement de la profondeur euphotique et à une augmentation de la biomasse du phytoplancton mue par l'augmentation de l'abondance des diatomées. Un épisode de vent violent enregistré à la station d'Halifax-2 à la mi-mars s'est traduit par une augmentation de la profondeur de la couche de mélange et par un déclin de l'abondance des diatomées et une diminution de la biomasse du phytoplancton, lesquels ont été également observés grâce à la télédétection par satellite sur le centre et sur l'ouest du plateau néo-écossais et sur le haut-fond Lurcher. Cet événement a entraîné une augmentation de la profondeur de la couche de mélange et pourrait avoir causé la dilution de la floraison. Cet événement de nature transitoire affichait une forte signature de température et de salinité (Hebert *et al.* 2018). À la station d'Halifax-2, la floraison a repris lorsque la stratification a de nouveau augmenté à la fin du mois de mars et au début du mois d'avril. L'abondance relative plus faible que la moyenne des diatomées en été et en automne correspondait bien avec la signature des pigments dans la section d'Halifax en 2016; cependant, il convient d'être prudent dans nos interprétations étant donné que l'échantillonnage de ce transect a été effectué vers la fin de la floraison printanière. Deuxièmement, les inventaires des silicates, un élément nutritif secondaire dont ont besoin les diatomées, ont été inférieurs à la normale tant dans les eaux de surface qu'en profondeur depuis 2014 et pourraient être associés à une réduction de la production des diatomées. Des inventaires des silicates et des phosphates inférieurs à la normale correspondent bien avec l'augmentation de la contribution relative des eaux de la pente, par contraste avec les eaux du golfe du Saint-Laurent, sur le plateau néo-écossais (Pepin *et al.* 2013). Troisièmement, une stratification plus prononcée que la normale en été et en automne pourrait avoir inhibé la production de phytoplancton au cours de la deuxième moitié de l'année. Cela est cohérent avec l'abondance relative élevée des flagellés à la station d'Halifax-2 en été et en automne, laquelle était également évidente d'après la composition des pigments dans la section d'Halifax, ce qui indique une augmentation des cryptophytes et des chlorophytes. Il est utile de mentionner que le maximum de la chlorophylle profonde (MCP) à l'été 2016 affichait une profondeur moindre que la climatologie, une tendance qui a débuté il y a six ans (résultats non montrés ici) et qui correspond à une diminution de la profondeur de la zone euphotique et une augmentation de la stratification par comparaison avec les enregistrements climatologiques.

À la station de Prince-5, les profils annuels des conditions physiques, des inventaires des éléments nutritifs et de la dynamique du phytoplancton s'écartaient tous des conditions normales. La profondeur de la couche de mélange plus accentuée que la normale en hiver et au printemps était associée à un faible indice de stratification, mais, durant l'été, une profondeur de la couche de mélange moindre (aux alentours de 40 m) et supérieure à l'indice de stratification moyen était associée à des vents plus faibles que la moyenne (entre juillet et septembre). Les concentrations de nitrates au fond sont demeurées légèrement plus faibles que la normale durant toute l'année, sauf au mois de juillet. Ce profil était semblable à celui observé pour les nitrates à la surface, ce qui n'est pas surprenant étant donné le mélange important qui se produit à cette station. On a assisté à deux périodes durant lesquelles la biomasse du phytoplancton était élevée en 2016 : une floraison se produisant plus tôt que la normale au mois d'avril et au mois de mai; une floraison plus intense que la normale entre les mois de juillet et de

septembre. La faible biomasse enregistrée au mois de juin était associée avec une forte augmentation de la salinité à la surface (Hebert *et al.* 2018). Comme pour la station d'Halifax-2, l'abondance relative des diatomées a diminué à la station de Prince-5, mais dans une moindre mesure, et les inventaires des silicates étaient également faibles à cette station. Dans l'ensemble, la biomasse du phytoplancton n'était que légèrement négative en 2016 à la station de Prince-5, mais l'abondance des diatomées est demeurée sous la normale depuis 2009, avant l'apparition de niveaux de silicates sous la normale en 2013.

La biomasse du zooplancton sur le plateau néo-écossais et dans l'est du golfe du Maine est normalement dominée par de grands copépodes riches en énergie, principalement *C. finmarchicus*, qui sont des proies importantes pour des poissons planctivores comme le hareng et le maquereau, pour la baleine noire de l'Atlantique Nord et pour d'autres espèces pélagiques. En 2016, la communauté du zooplancton continuait à être caractérisée par des abondances plus faibles que la normale de *C. finmarchicus*, par une faible biomasse du zooplancton et par des abondances moindres des espèces de *Calanus* arctiques, et par des abondances plus élevées que la normale de non-copépodes, de copépodes d'eaux chaudes de mer ouverte et de plusieurs petites espèces de copépodes aux stades juvéniles. Des changements dans l'abondance des groupes de copépodes qui sont des indicateurs de la répartition des masses d'eau dans la région, incluant les espèces de *Calanus* arctiques (groupe inférieur), les copépodes des eaux chaudes de mer ouverte (groupe supérieur) et *O. atlantica* des eaux de mer ouverte (groupe supérieur) qui sont survenus au cours des dernières années correspondent bien avec une incidence accrue des eaux de mer ouverte sur le centre et sur l'ouest du plateau néo-écossais. La réponse de la population de *C. finmarchicus* aux changements environnementaux est complexe en raison des interactions entre la circulation océanique, les cycles de production primaire annuels et le cycle biologique des espèces de *Calanus*, qui axent leur effort de reproduction sur la production de diatomées lors de la floraison printanière et peuvent afficher une période de dormance dans des eaux profondes durant des saisons moins productives aux stades juvéniles tardifs. Au cours des dernières années, l'abondance de *C. finmarchicus* pourrait avoir été négativement touchée par de faibles ampleurs de la floraison printanière et par des abondances des diatomées plus faibles que la moyenne. La durée brève de l'impulsion de la production printanière de *C. finmarchicus* à la station d'Halifax-2 corrobore cette interprétation. Les populations de *C. finmarchicus* peuvent également être touchées négativement par des températures des eaux profondes plus élevées que la moyenne, ce qui peut limiter la longueur de la période de dormance et entraîner une émergence hors de la dormance précoce et une désynchronisation avec le moment de la floraison printanière (Saumweber et Durbin 2006). Les petites impulsions de *C. finmarchicus* au stade copépodite précoce observées à la fin de l'automne et au milieu de l'hiver à la station d'Halifax-2 pourraient indiquer qu'une partie de la population pourrait émerger de la dormance et reprendre une production active plusieurs mois avant la floraison printanière, comme cela a été observé dans le golfe du Maine (Durbin *et al.* 1997). L'abondance de *C. finmarchicus* à la station de Prince-5 était faible à la fin de l'année, ce qui indique la présence d'un faible stock hivernant pour la production de semences en 2017. Les anomalies de l'abondance de *Pseudocalanus* spp., des copépodes de plus faible taille qui sont observés au printemps et en été et qui sont également d'importantes proies pour de petits poissons, étaient mixtes, mais faibles, dans le centre et dans l'ouest du plateau néo-écossais.

Tandis que des conditions océaniques chaudes persistent dans la région des Maritimes, on dispose de plus en plus d'éléments probants faisant état d'un changement dans les communautés du phytoplancton et du zooplancton, passant de la dominance de grandes cellules de phytoplancton et de grands copépodes riches en énergie comme *C. finmarchicus* à la présence d'espèces de phytoplancton et de copépodes plus petites et des espèces de non-copépodes se nourrissant de particules de façon opportuniste, comme les appendiculaires, les

gastropodes pélagiques et les Thaliacées. En outre, les désynchronisations entre la production des efflorescences de phytoplancton et le broutage par *C. finmarchicus* pourraient accroître l'exportation de la production à partir du milieu pélagique. L'exportation accrue vers l'environnement benthique pourrait avoir contribué à des abondances plus élevées que la normale de méroplancton, comme les larves des bivalves échinodermes, comme cela a été observé au cours des dernières années. Comme les réseaux trophiques de type « classique » dominés par les diatomées et le niveau trophique de *C. finmarchicus* sont associés avec une efficacité plus élevée du transfert de l'énergie vers des animaux pélagiques de niveau trophique supérieur que l'efficacité enregistrée pour niveaux trophiques qui sont dominés par de petites cellules de phytoplancton et de petits taxons de zooplancton, ce changement pourrait indiquer un changement vers des conditions moins productives pour des poissons planctivores, la baleine noire de l'Atlantique Nord et les oiseaux de mer se nourrissant de poissons pélagiques dans la région des Maritimes.

ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON

PHYTOPLANCTON

Sur l'ouest et sur l'est du plateau néo-écossais, les cycles saisonniers climatologiques de l'indice de la couleur du phytoplancton et de l'abondance des diatomées affichaient des pics au printemps (mars et avril) et de faibles valeurs en été. En automne et en hiver, l'indice de la couleur du phytoplancton était faible, mais l'abondance des diatomées augmentait en automne et demeurait relativement élevée en hiver (figure 32). L'abondance des dinoflagellés ne présentait pas de cycle saisonnier clair, quelle que soit la région. En 2015, on a effectué un échantillonnage à l'aide du dispositif d'enregistrement en continu durant seulement sept mois sur l'ouest du plateau néo-écossais et durant seulement cinq mois sur l'est du plateau néo-écossais. Parmi les groupes de phytoplancton, les niveaux de diatomées au mois de juin étaient supérieurs à la normale sur l'ouest du plateau néo-écossais et inférieurs à la normale sur l'est du plateau néo-écossais. Les niveaux des dinoflagellés étaient supérieurs à la normale sur l'ouest du plateau néo-écossais au mois de mai et sur l'est du plateau néo-écossais en septembre et en novembre. Durant les autres mois au cours desquels on a effectué un échantillonnage, les trois indices du phytoplancton affichaient des valeurs près de la normale. Aucune anomalie annuelle de l'abondance n'a pu être calculée en raison de la piètre couverture de l'échantillonnage temporel (figure 33).

ZOOPLANCTON

Les cycles saisonniers climatologiques dérivés de l'enregistrement en continu du plancton pour les espèces de *Calanus* aux stades I à IV (principalement *C. finmarchicus*) et pour *C. finmarchicus* au stade tardif affichent des pics de l'abondance sur l'ouest du plateau néo-écossais au printemps et en automne (figure 34). Sur l'est du plateau néo-écossais, les mêmes pics de l'abondance sont apparents, mais affichent une amplitude bien moindre (figure 34). En 2015, l'abondance des espèces de *Calanus* aux stades I à IV et de *C. finmarchicus* aux stades V et VI était près de la normale sur l'ouest du plateau néo-écossais en avril et en mai. Par après, les niveaux de ces taxons étaient inhabituellement faibles sur l'ensemble du plateau néo-écossais entre juin et septembre et près de la normale en octobre et en novembre. Parmi les autres taxons échantillonnés aux mois d'avril et de mai (ouest du plateau néo-écossais seulement), les abondances des deux espèces de *Calanus* de l'Arctique et des amphipodes hypéridés étaient inhabituellement faibles, les abondances de petits copépodes (*Para/Pseudocalanus*) étaient près de la normale, et les abondances des trois autres taxons étaient variables. Les abondances de la plupart des taxons sur l'ensemble du plateau néo-

écossais étaient généralement relativement faibles au mois de juin et ont affiché une hausse pour s'établir près des valeurs normales en octobre et en novembre. De nouveau, aucune anomalie annuelle de l'abondance n'a pu être calculée en raison de la piètre couverture de l'échantillonnage temporel (figure 33).

ORGANISMES SENSIBLES AUX ACIDES

En 2015, les abondances des coccolithophores (phytoplancton) et des foraminifères (microzooplancton) étaient près de la normale en avril et en mai (sur l'ouest du plateau néo-écossais seulement) et plus élevées que la normale entre septembre et novembre sur l'est du plateau néo-écossais. Les ptéropodes (*Limacina* spp.) étaient inhabituellement abondants au mois de mai (ouest du plateau néo-écossais seulement), mais près des niveaux normaux ailleurs dans la région. Les anomalies annuelles de l'abondance ne sont pas consignées dans le présent document en raison de la piètre couverture de l'échantillonnage temporel (figure 33).

RÉSULTATS DE L'ENREGISTREMENT EN CONTINU DU PLANCTON *VERSUS* LES RÉSULTATS DE LA TÉLÉDÉTECTION ET DES OBSERVATIONS *IN SITU*

L'échantillonnage des concentrations de chlorophylle réalisé *in situ* par les employés du PMZA à la station d'Halifax-2 en 2015 et les observations par satellite de la couleur de l'océan dans la région de l'ouest et du centre du plateau néo-écossais donnent à penser que la floraison printanière a débuté plus tard que d'habitude (du début au milieu du mois d'avril), avec des concentrations de chlorophylle plus élevées que la normale (station d'Halifax-2) ou normales (ouest et centre du plateau néo-écossais à la fin du mois d'avril (Johnson *et al.* 2017). Les observations effectuées au cours de l'enregistrement en continu du plancton sur l'ouest du plateau néo-écossais, qui n'ont pas débuté avant le mois d'avril, correspondaient dans une certaine mesure avec les observations par satellite de l'abondance des diatomées (niveau normal sur l'ouest du plateau néo-écossais en avril), mais pas avec l'indice de la couleur du phytoplancton (qui était inhabituellement faible sur l'ouest du plateau néo-écossais au mois d'avril). Les abondances des espèces de *Calanus* aux stades I à IV et de *C. finmarchicus* aux stades V et VI dérivées de l'enregistrement en continu du plancton affichaient toutes deux un pic au mois de mai sur l'ouest et sur l'est du plateau néo-écossais en 2015, lequel pic a coïncidé avec le pic de l'abondance de *C. finmarchicus* (tous les stades) mesuré par le personnel du PMZA à la station d'Halifax-2. D'un autre côté, les abondances pour les mêmes taxons faisant l'objet d'un enregistrement continu du plancton étaient près des niveaux normaux au mois d'avril, tandis que l'abondance de *C. finmarchicus* au mois d'avril à la station d'Halifax-2 était inhabituellement faible. Ce manque d'uniformité apparent pourrait être lié au fait que l'échantillonnage dans le cadre du PMZA s'effectue à une station unique (Halifax-2) dans l'ensemble de la colonne d'eau, tandis que l'échantillonnage effectué lors de l'enregistrement continu du plancton cible la couche se trouvant près de la surface sur des sites très dispersés (voir la figure 5) et au fait que les incidences océanographiques ne sont pas uniformes sur l'ensemble du plateau néo-écossais. L'anomalie annuelle de l'abondance faible pour *C. finmarchicus* et les abondances faibles en été à la station d'Halifax-2 en 2015 correspondaient généralement bien avec les observations limitées effectuées lors de l'enregistrement continu du plancton. Les abondances des deux espèces de *Calanus* de l'Arctique étaient très faibles dans les échantillons prélevés dans le cadre du PMZA et lors de l'enregistrement continu du plancton en 2015, mais l'abondance accrue des taxons fréquentant les eaux chaudes de mer ouverte observée dans les échantillons prélevés dans le cadre du PMZA n'était pas évidente dans les échantillons prélevés lors de l'enregistrement continu du plancton.

SOMMAIRE

- Les observations enregistrées en 2016 offrent des éléments probants attestant le fait que les changements dans les communautés de plancton observés durant les dernières années ont persisté. Ces changements modifieront vraisemblablement le devenir de la production dans l'écosystème, avec des impacts négatifs qui sont déjà observés dans les habitats d'alimentation de planctivores spécialisés comme la baleine noire de l'Atlantique Nord.
- En 2016, les inventaires des silicates et des phosphates à la surface et en profondeur étaient principalement inférieurs à la normale. Ce phénomène suit une tendance que l'on observe depuis 2013 sur le plateau néo-écossais et représente un changement par rapport aux anomalies positives enregistrées dans la section de détroit de Cabot. Les inventaires des nitrates profonds étaient également principalement inférieurs à la moyenne en 2016.
- Les anomalies de la biomasse du phytoplancton étaient principalement négatives en 2016. Les abondances d'espèces de phytoplancton de grande taille aux stations visées par les séries chronologiques étaient inférieures à la moyenne, prolongeant une tendance qui a commencé à être observée en 2009. D'après les estimations reposant sur les pigments, la biomasse des espèces de phytoplancton de grande taille était principalement inférieure à la normale.
- Le début de la floraison printanière du phytoplancton était précoce, et la durée de la floraison était brève dans l'est, et l'amplitude de la floraison était faible, et la durée de la floraison était brève dans le centre et dans l'ouest du plateau néo-écossais en 2016.
- La biomasse du zooplancton et l'abondance de *C. finmarchicus* étaient inférieurs à la moyenne, tandis que l'abondance des non-copépodes était plus élevée que la normale, prolongeant une tendance qui a débuté durant les années 2010 à 2012.
- Les changements dans la communauté des copépodes indiquaient une hausse de l'abondance des espèces des eaux chaudes de mer ouverte et une diminution des espèces migrant dans les eaux froides sur le plateau néo-écossais en 2016, prolongeant une tendance qui a débuté en 2012.
- L'abondance de certains groupes de non-copépodes se nourrissant de petites particules et du méroplancton ont augmenté au cours des dernières années.
- L'échantillonnage effectué durant l'enregistrement continu du plancton en 2015 était limité à sept mois (d'avril à novembre) sur l'ouest du plateau néo-écossais et à cinq mois (de juin à novembre) sur l'est du plateau néo-écossais.
- En 2015, les indices du phytoplancton utilisés lors de l'enregistrement continu du plancton (indice de la couleur du phytoplancton, abondance des diatomées et des dinoflagellés) se trouvaient près des niveaux normaux sur l'ouest du plateau néo-écossais en avril et en mai et sur l'ouest et l'est du plateau néo-écossais par après.
- En 2015, les taxons de zooplancton dominants au sein de la biomasse *Calanus* (aux stades I à IV) et *C. finmarchicus* (stades V et VI) se situaient à des niveaux normaux sur l'ouest du plateau néo-écossais aux mois d'avril et de mai, chutant à de faibles niveaux tant sur l'ouest que sur l'est du plateau néo-écossais entre juin et septembre, et s'élevant pour s'établir à des niveaux normaux en octobre et en novembre. Parmi les autres taxons échantillonnés, les deux espèces de *Calanus* de l'Arctique affichaient des niveaux inhabituellement faibles sur l'ouest du plateau néo-écossais aux mois d'avril et de mai, tandis que deux taxons affichant une sensibilité à l'acide (coccolithophores, foraminifères) étaient inhabituellement abondants sur l'est du plateau néo-écossais entre les mois de septembre et de novembre.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le personnel naviguant de l'Institut océanographique de Bedford et de la Station biologique de St. Andrews, le chercheur responsable des missions des relevés au chalut de l'écosystème, Don Clark, Heath Stone et Bill MacEachern, ainsi que les officiers et les équipages des navires de la Garde côtière canadienne *Hudson, Alfred Needler, M. Perley, Sigma-T, Teleost, Viola M. Davidson* ainsi que des navires de recherche et sauvetage pour leur aide dans l'exécution du programme sur le terrain de 2016 de la région des Maritimes. Carol Anstey, Robert Benjamin, Shelley Bond, Jay Bugden, Carla Caverhill, Andrew Cogswell, Terry Cormier, Jack Fife, Jennifer Hackett, Gordana Lazin, Kevin Pauley, Cathy Porter, Tim Perry, Marc Ringuette, Sarah Scouten, Jackie Spry et Peter Thamer ont apporté leur contribution au prélèvement et à l'analyse des échantillons ainsi qu'à l'analyse, à la gestion et au partage des données. Pierre Pepin et Stéphane Plourde ont passé en revue et amélioré le manuscrit.

RÉFÉRENCES

Behrenfeld, M.J., Boss, E.S. 2014. Resurrecting the Ecological Underpinnings of Ocean Plankton Blooms. Annu. Rev. Mar. Sci. 6: 167-194.

Colbourne, E., Holden, J., Senciall, D., Bailey, W., Craig, J., Snook, S. 2017. Physical Oceanographic Conditions on the Newfoundland and Labrador Shelf in 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/079.

Devine, L., Scarratt, M., Plourde, S., Galbraith, P.S., Michaud, S., Lehoux, C. 2017. Chemical and Biological Oceanographic Conditions in the Estuary and Gulf of St. Lawrence During 2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/034/ v + 48 pp.

Durbin, E.G., Runge, J.A., Campbell, R.G., Garrahan, P.R., Casas, M.C., Plourde, S. 1997. Late fall- early winter recruitment of *Calanus finmarchicus* on Georges Bank. Mar. Ecol. Progr. Ser. 151: 103-114.

Galbraith, P.S., Chassé, J., Caverhill, C., Nicot, P., Gilbert, D., Pettigrew, B., Lefaivre, D., Brickman, D., Devine, L., Lafleur, C. 2017. Physical Oceanographic Conditions in the Gulf of St. Lawrence in 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/044.

Harrison, G., Colbourne, E., Gilbert, D., Petrie, B. 2005. Oceanographic Observations and Data Products Derived from Large-scale Fisheries Resource Assessment and Environmental Surveys in the Atlantic Zone. AZMP/PMZA Bull. 4: 17-23.

Hebert, D., Pettipas, R., Brickman, D., Dever, M. 2018. Meteorological, Sea Ice and Physical Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Gulf of Maine During 2016. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/016.

Holmes, R.W. 1970. The Secchi Disk in Turbid Coastal Waters. Limnol. Oceanogr. 15(5): 688-694.

Johnson, C., Casault, B., Head, E., Spry, J. 2017. Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions on the Scotian Shelf and in the Eastern Gulf of Maine in 2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/012.

Johnson, C., Harrison, G., Head, E., Casault, B., Spry, J., Porter, C., Yashayaeva, I. 2012. Optical, Chemical, and Biological Oceanographic Conditions in the Maritimes Region in 2011. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012/071.

Keister, J.E., Di Lorenzo, E., Morgan, C.A., Combes, V., Peterson, W.T. 2011. Zooplankton species composition is linked to ocean transport in the Northern California Current. Global Change Biol. 17: 2498-2511.

Lenth, R. 2017. lsmeans: Least-Squares Means. R Package Version 2.26-3.

Mackas, D.L., Greve, W., Edwards, M., Chiba, S., Tadokoro, K., Eloire, D., Mazzocchi, M.G., Batten, S., Richardson, A.J., Johnson, C., Head, E., Conversi, A., Pelosi, T. 2012. Changing zooplankton seasonality in a changing ocean: Comparing time series of zooplankton phenology. Progr. Oceanogr. 97-100: 31-62.

Mitchell, M., Harrison, G., Pauley, K., Gagné, A., Maillet, G., Strain, P. 2002. Atlantic Zonal Monitoring Program Sampling Protocol. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 223.

MPO. 2000. Conditions chimiques et biologiques de l'océan en 1998 et 1999 – Région des Maritimes. MPO – Sciences, Rapp. sur l'état des stocks G3-03 (2000).

MPO. 2017. Conditions océanographiques de la zone atlantique en 2016. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2017/031.

Pepin, P. Maillet, G., Lavoie, D., Johnson, C. 2013. Temporal Trends in Nutrient Concentrations in the Northwest Atlantic Basin. Ch. 10: pp. 127-150. *In* J.W. Loder, G. Han, P.S. Galbraith, J. Chassé, and A. van der Baaren (Eds.). Aspects of climate change in the Northwest Atlantic off Canada. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3045: x + 190 p.

Pepin, P., Maillet, G., Fraser, S., Doyle, G., Robar, A., Shears, T., Redmond, G. 2017. Optical, Chemical, and Biological Conditions on the Newfoundland and Labrador Shelf During 2014-2015. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2017/009. v + 37 p.

Petrie, B. 2007. Does the North Atlantic Oscillation Affect Hydrographic Properties on the Canadian Atlantic Continental Shelf? Atmos.-Ocean 45(3): 141-151.

Petrie, B., Dean-Moore, J. 1996. Temporal and Spatial Scales of Temperature and Salinity on the Scotian Shelf. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 203.

Petrie, B., Drinkwater, K., Gregory, D., Pettipas, R., Sandström, A. 1996. Temperature and Salinity Atlas for the Scotian Shelf and the Gulf of Maine. Can. Data. Rep. Hydrog. Ocean Sci. 171.

Petrie, B., Yeats, P. 2000. Annual and Interannual Variability of Nutrients and Their Estimated Fluxes in the Scotian Shelf – Gulf of Maine Region. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57: 2536-2546.

Petrie, B., Yeats, P., Strain, P. 1999. Nitrate, Silicate and Phosphate Atlas for the Scotian Shelf and the Gulf of Maine. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 203.

R Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Richardson, A.J., Walne, A.W., John, A.W.G., Jonas, T.D., Lindley, J.A., Sims, D.W., Stevens, D., Witt, M. 2006. Using Continuous Plankton Recorder Data. Progr. Oceanogr. 68: 27-74.

Saumweber, W.J., Durbin, E.G. 2006. Estimating Potential Diapause Duration in *Calanus finmarchicus*. Deep-Sea Res. II. 52: 2597-2617.

Sverdrup, H.U. 1953. On Conditions for the Vernal Blooming of Phytoplankton. J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer. 18: 287-295.

Therriault, J.-C., Petrie, B., Pepin, P., Gagnon, J., Gregory, D., Helbig, J., Herman, A., Lefaivre, D., Mitchell, M., Pelchat, B., Runge, J., Sameoto, D. 1998. Proposal for a Northwest Atlantic Zonal Monitoring Program. Can. Tech. Rep. Hydrogr. Ocean Sci. 194.

Zhai, L., Platt, T., Tang, C., Sathyendranath, S., Hernández Walls, R. 2011. Phytoplankton Phenology on the Scotian Shelf. ICES J. Mar. Sci. 68: 781-791.

TABLEAUX

Tableau 1. Missions d'échantillonnage dans le cadre du Programme de monitorage de la zone atlantique (PMZA) dans la région des Maritimes en 2016.

Groupe	Emplacement	ID de la mission	Dates	Numéro de station hydrologique	Numéro de filet Station
Relevés au chalut	Banc de Georges	TEL2016-002	22 février – 10 mars	48	11
	Plateau Néo-Écossaise	TEL2016-003	10 mars – 25 mars	68	15
	Plateau Néo-Écossaise	NED2016-016	28 juin – 15 août	250	41
Sections saisonnières	Plateau Néo-Écossaise	HUD2016-003	17 avril – 27 avril	50	45
	Mer du Labrador/détroit de Cabot/ligne de Halifax	HUD2016-006	2 mai	6	6
			21 mai – 24 mai	13	5
	Plateau Néo-Écossaise	HUD2016-027	15 septembre – 6 octobre	106	88
Stations à haute fréquence	Halifax-2	BCD2016-666	1er janvier – 31 décembre	19(7)[1]	19(7)[1]
	Prince-5	BCD2016-669	1er janvier – 31 décembre	12	12
			Total :	*572*	*242*

[1]Occupations totales des stations, incluant les occupations durant les relevés au chalut et dans les sections saisonnières (les occupations dédiées comportant des ID de missions telles qu'énumérées à gauche figurent entre parenthèses).

FIGURES

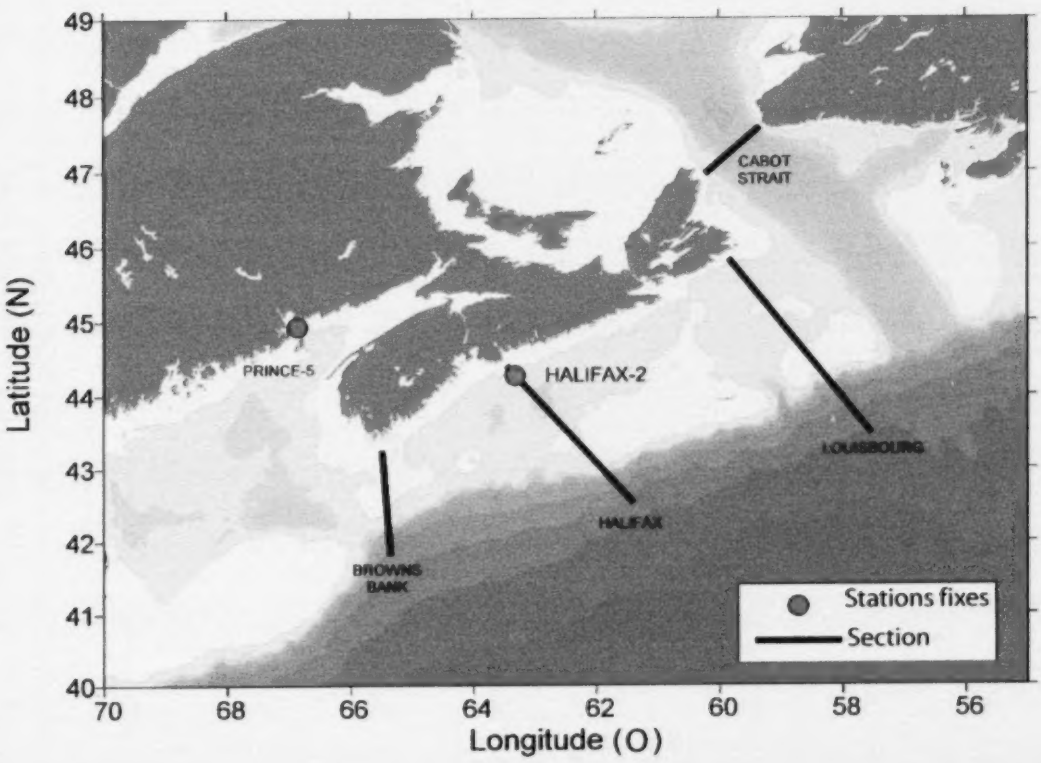

Figure 1. Carte des sections primaires (détroit de Cabot, Louisbourg, Halifax et banc de Browns) et des stations d'échantillonnage à haute fréquence (Halifax-2 et Prince-5) échantillonnées dans la région des Maritimes du MPO.

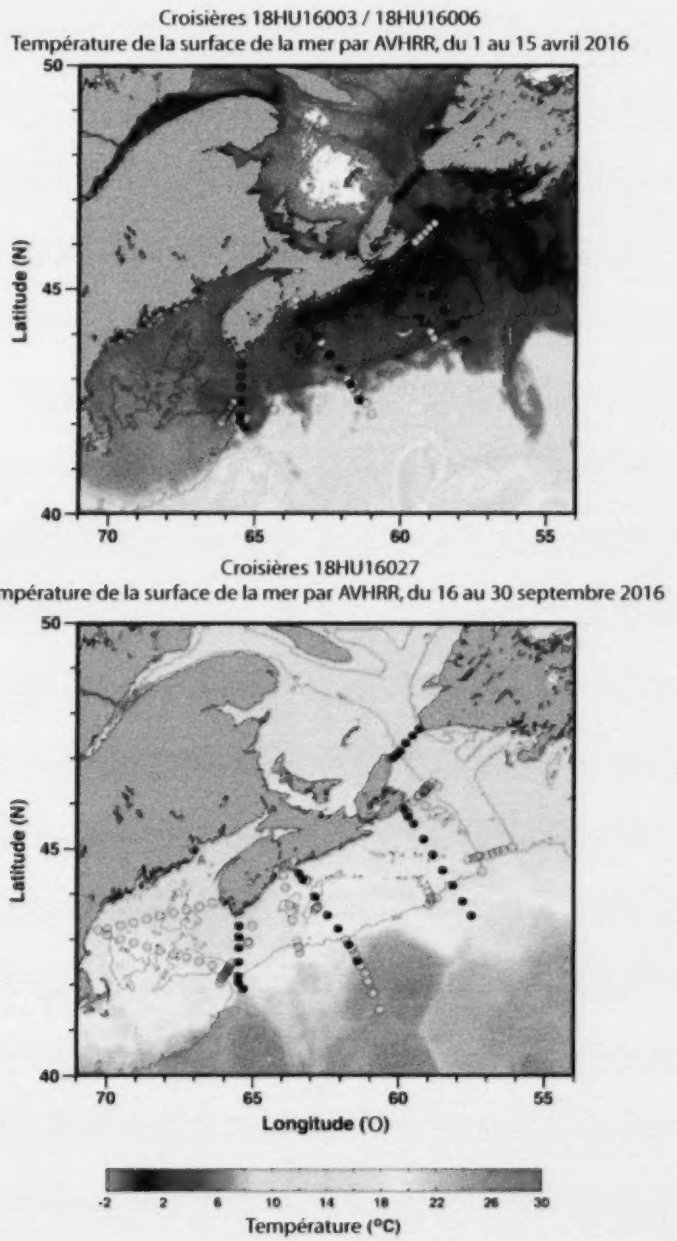

Figure 2. Stations échantillonnées durant les relevés de printemps et d'automne de 2016. Les emplacements des stations sont superposés sur les images composites de la température de la surface de la mer pour les dates qui sont près des dates de missions. Les marques noires indiquent les stations de base, et les marques grises indiquent les stations échantillonnées dans le cadre de programmes connexes. La section du détroit de Cabot a été échantillonnée au printemps 2016 dans le cadre du relevé de la mer du Labrador (18HU16006) pour lequel seules les stations du détroit de Cabot sont illustrées.

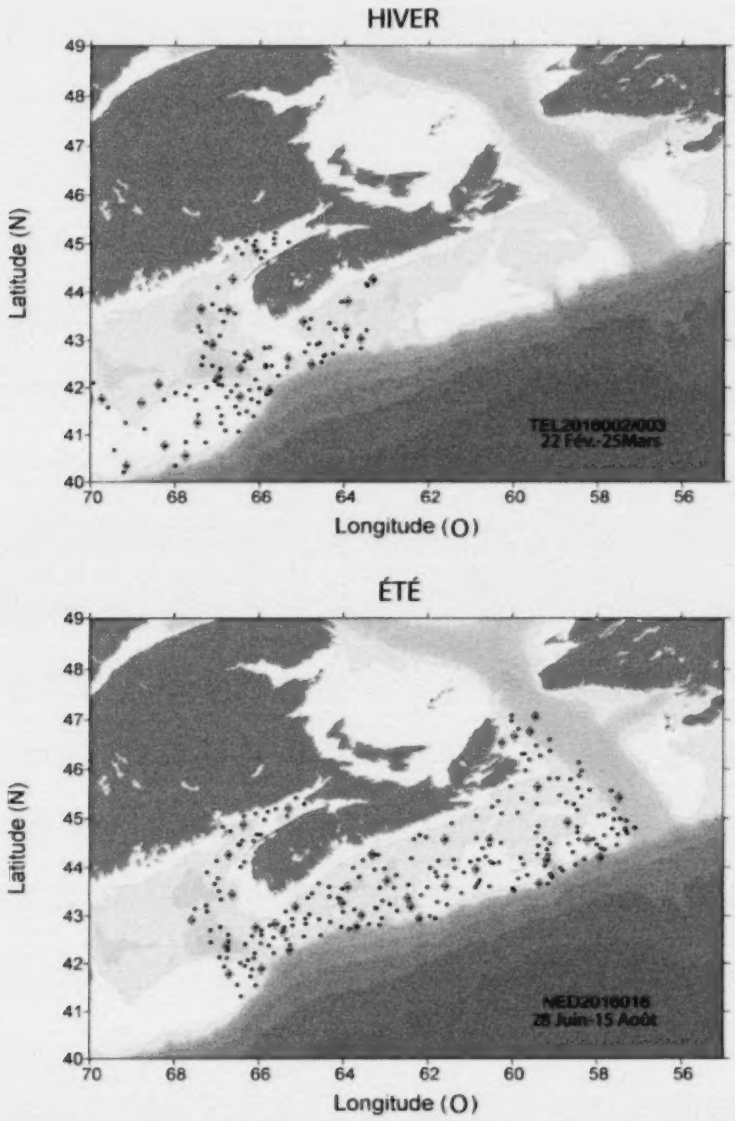

Figure 3. Stations échantillonnées durant les relevés au chalut de l'écosystème primaires dans la région des Maritimes en 2016. Les marques pleines noires indiquent les stations hydrographiques; les losanges ouverts rouges indiquent les stations où l'on a hissé des filets verticaux en plus des mesures hydrographiques.

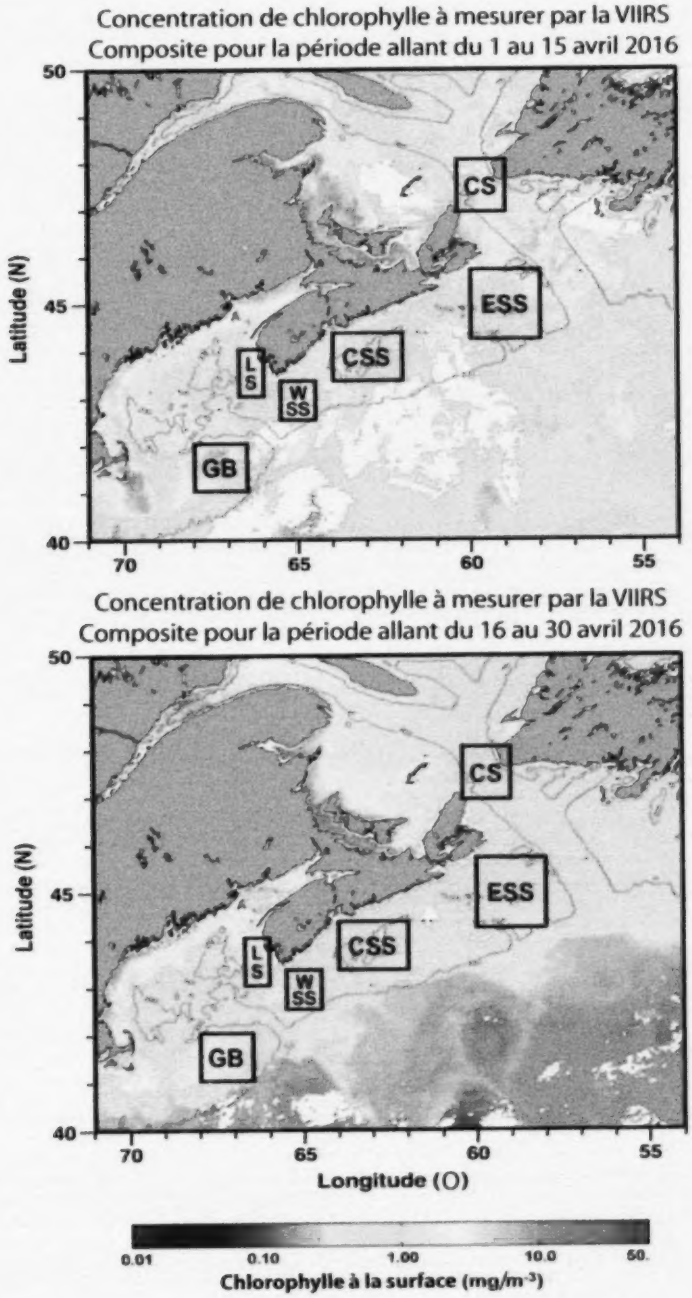

Figure 4. Sous-régions statistiques de la région des Maritimes déterminées pour l'analyse spatio-temporelle des données sur la couleur de l'océan collectées par satellite. Les sous-régions sont superposées sur les images composites de la chlorophylle à la surface de la mer pour les dates qui sont près des dates de missions. DC – détroit de Cabot; CPN – centre du plateau néo-écossais; EPN – est du plateau néo-écossais; BG – banc de Georges; HL – haut-fond Lurcher; OPN – ouest du plateau néo-écossais.

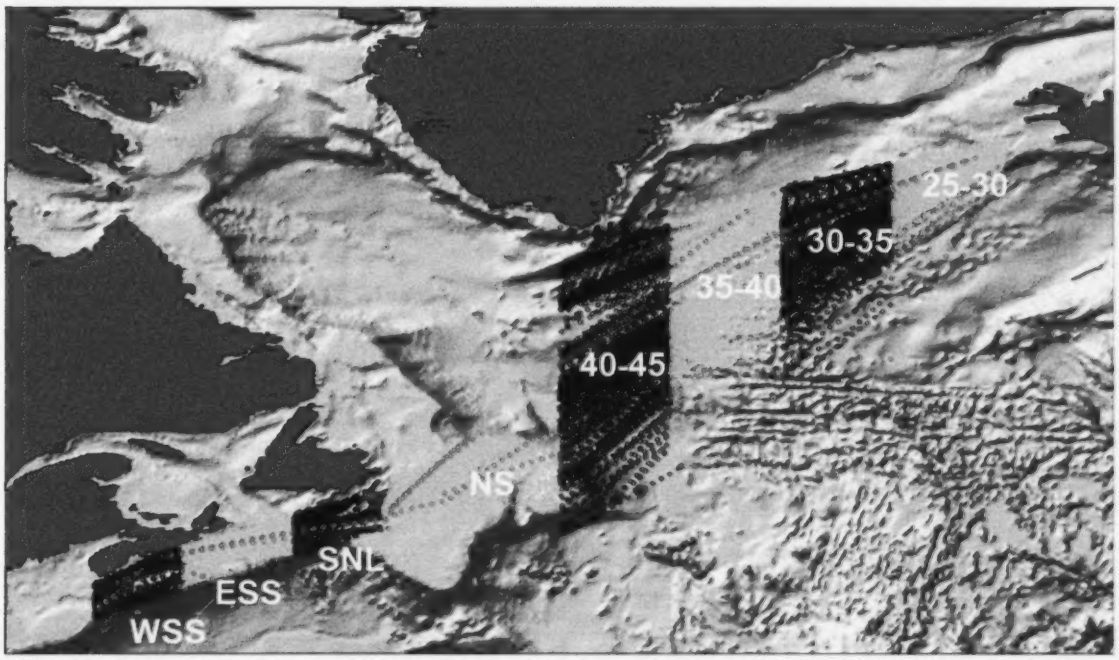

Figure 5. Lignes et stations pour l'enregistrement continu du plancton entre 1957 et 2015. Les stations échantillonnées en 2015 sont indiquées en rouge. Les données sont analysées par région. Les régions sont les suivantes : ouest du plateau néo-écossais, est du plateau néo-écossais, sud du plateau de Terre-Neuve, plateau de Terre-Neuve et régions situées entre les longitudes 40-45°O, 35-40°O, 30-35°O, 25-30°O.

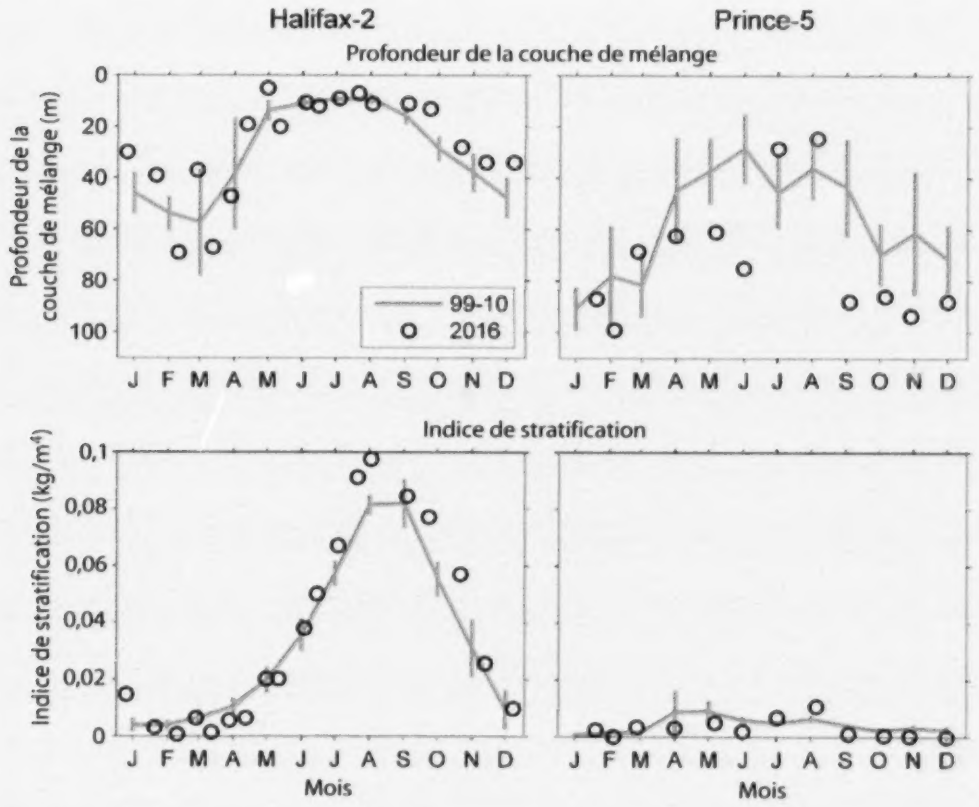

Figure 6. Propriétés du mélange (profondeur de la couche de mélange, indice de stratification) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence des Maritimes comparant les données recueillies en 2016 (cercles ouverts) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

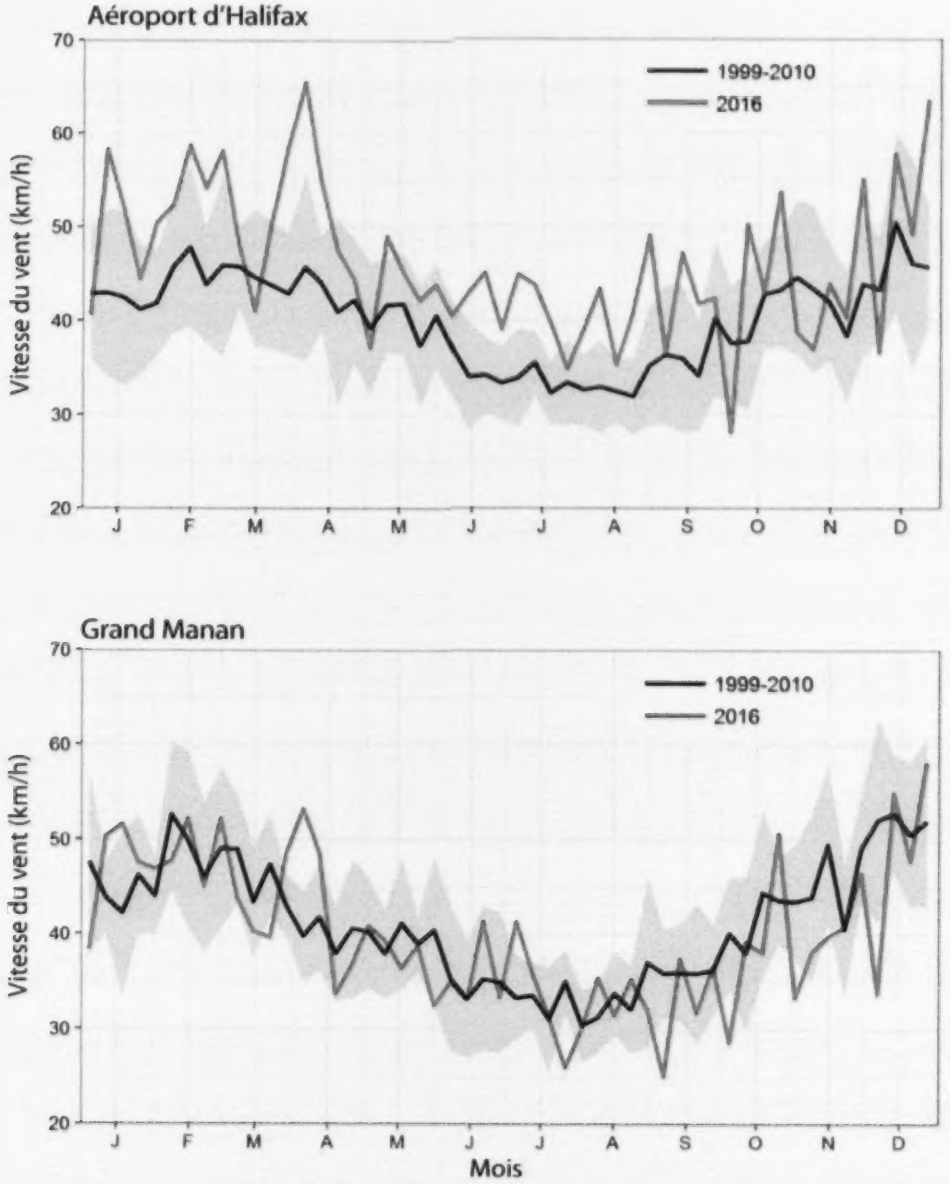

Figure 7. Rafales de vent quotidiennes moyennes maximales à l'île de Grand Manan (représentatives des conditions du vent enregistrées à Prince-5) et à l'aéroport international d'Halifax (représentatif des conditions du vent à Halifax-2) pour l'année 2016 (ligne rouge) et climatologie enregistrée entre 1998 et 2010 (ligne noire). La zone ombrée grise représente l'écart-type des données climatologiques calculées sur 13 ans.

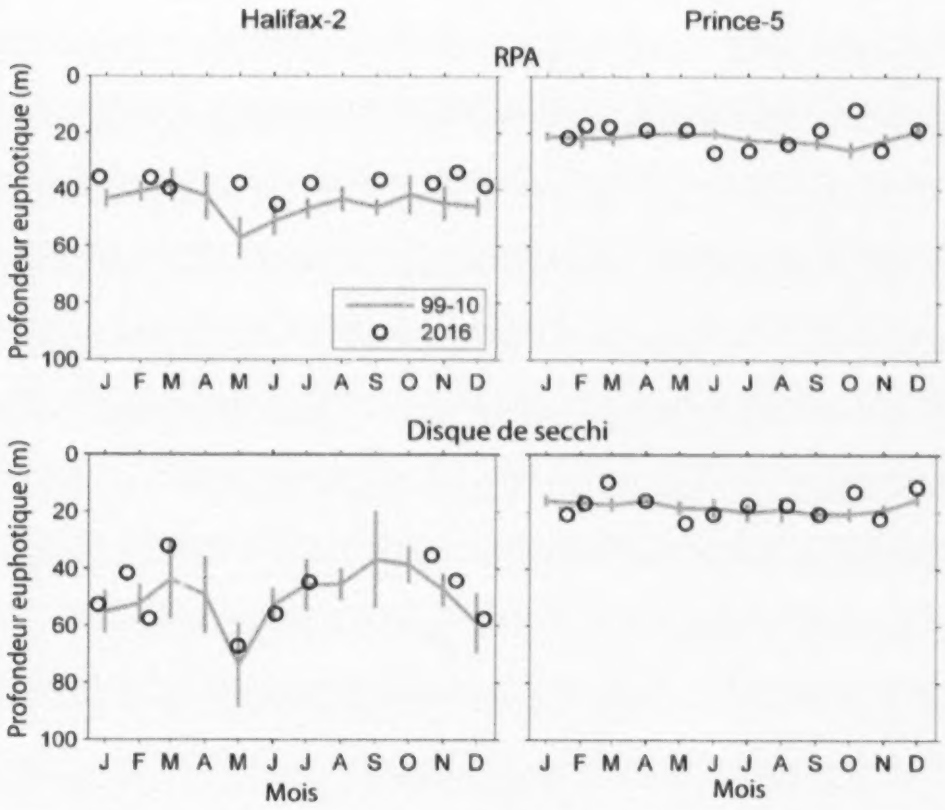

Figure 8. Propriétés optiques (profondeur euphotique mesurée grâce au dispositif de mesure de l'éclairement énergétique, au RPA et au disque de secchi) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Les données recueillies en 2016 (cercles) sont comparées avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine), sauf pour la profondeur euphotique calculée grâce au RPA à Prince-5 entre 2001 et 2010. Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

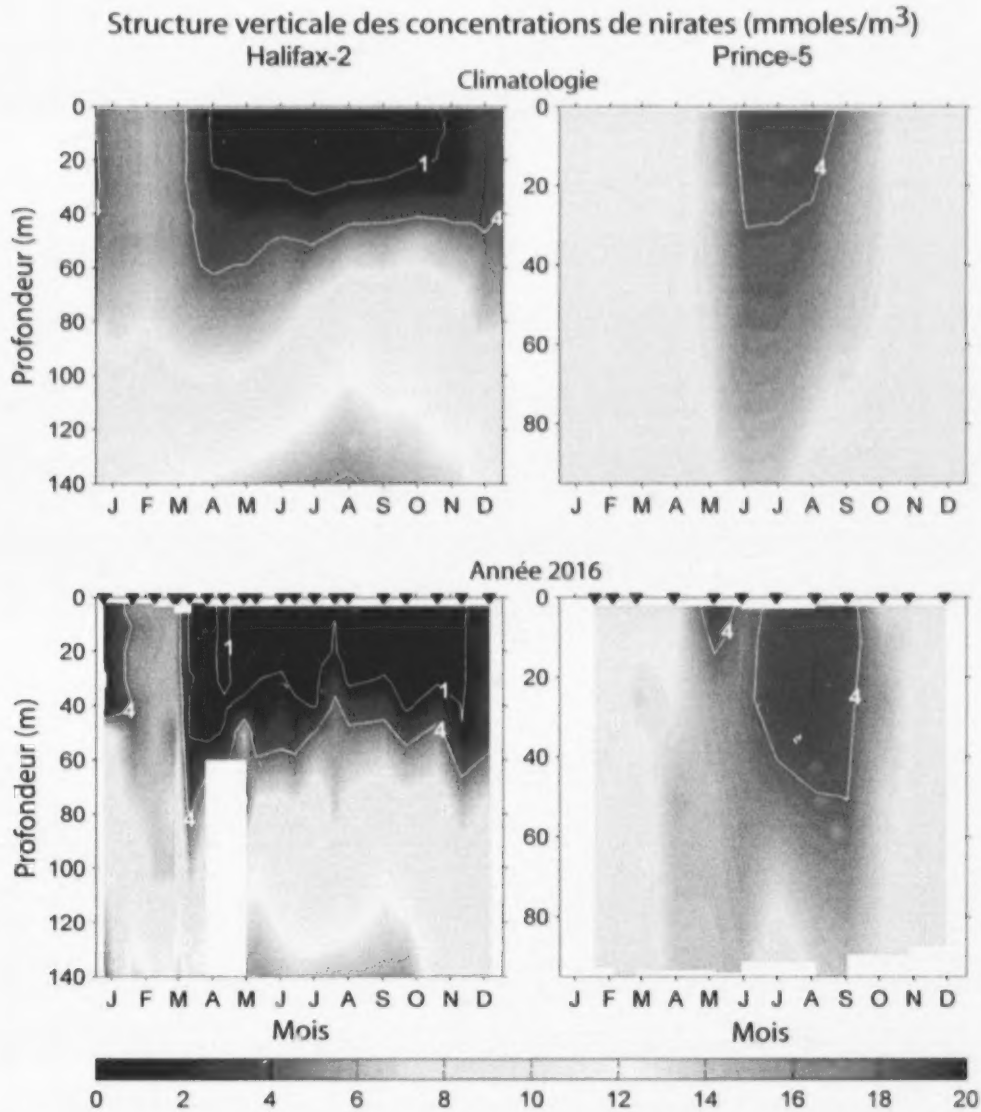

Figure 9. Comparaison des changements annuels dans la structure verticale des concentrations de nitrates (mmoles/m^3) en 2016 (panneaux du bas) avec les conditions climatologiques moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (panneaux du haut) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes.

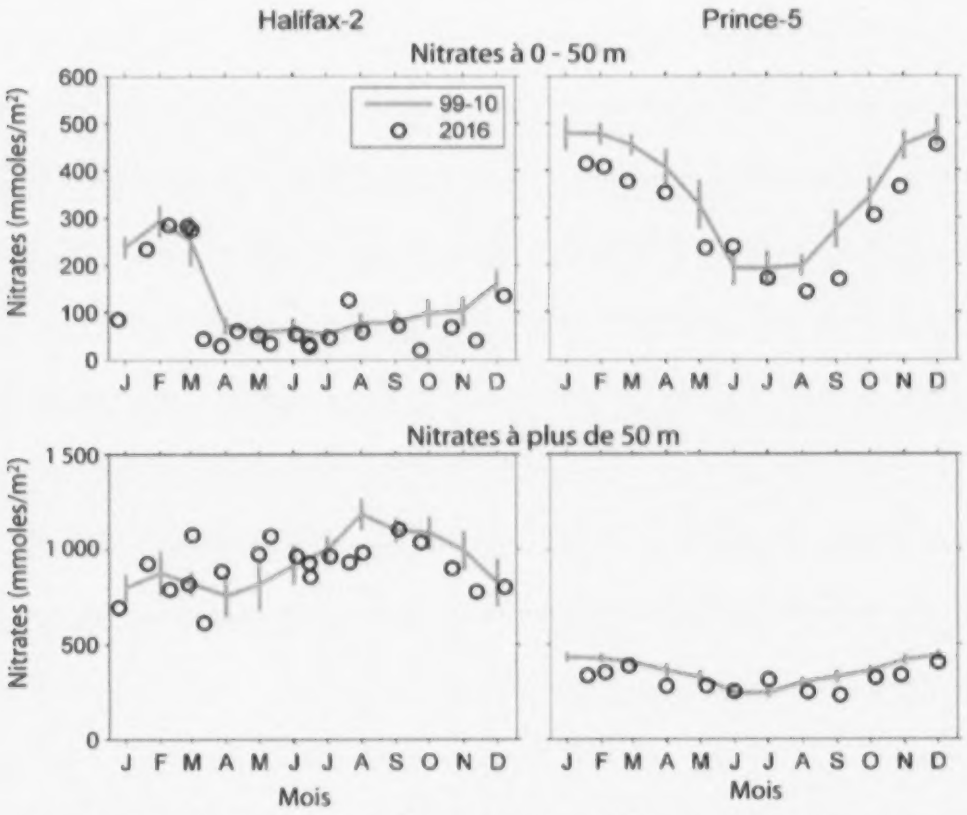

Figure 10. Comparaison des données recueillies en 2016 (cercle ouvert) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Panneaux du haut : inventaire des nitrates à la surface (0 – 50 m) Panneaux du bas : inventaire des nitrates en profondeur (> 50 m) Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

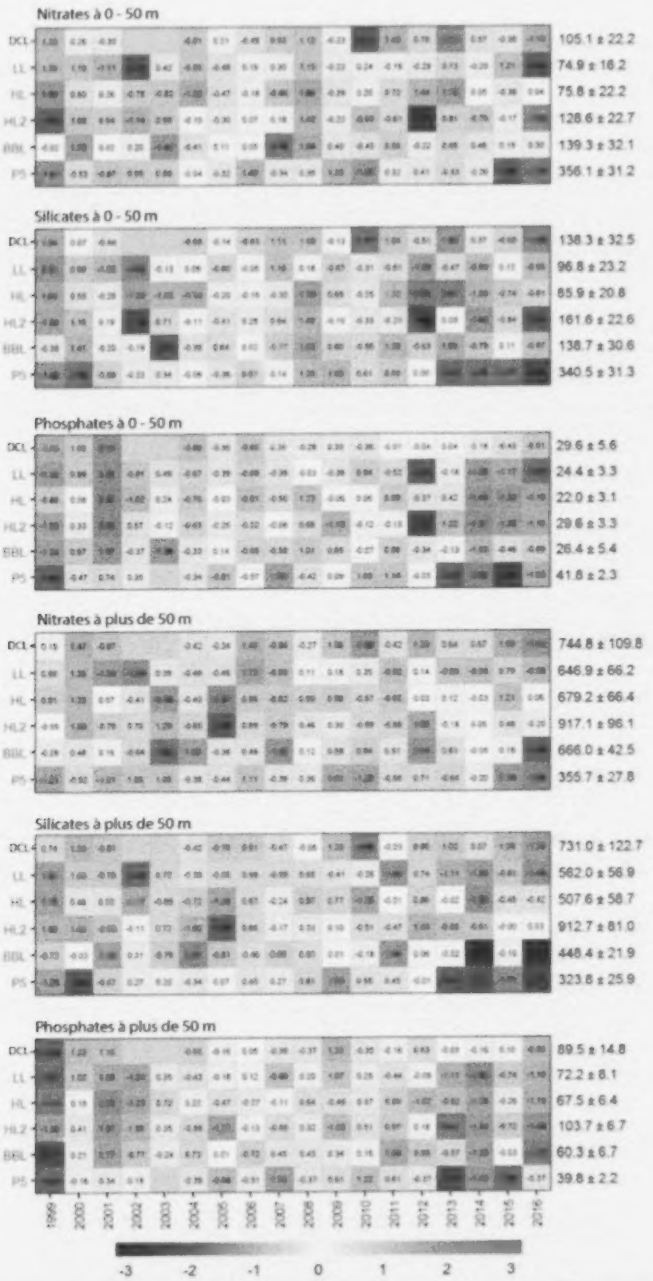

Figure 11. Feuille de notation de l'anomalie annuelle pour les inventaires des nitrates, des silicates et des phosphates à la surface (0 – 50 m) et en profondeur (> 50 m). Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'éléments nutritifs supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section du banc de Browns, P5 : Prince-5.

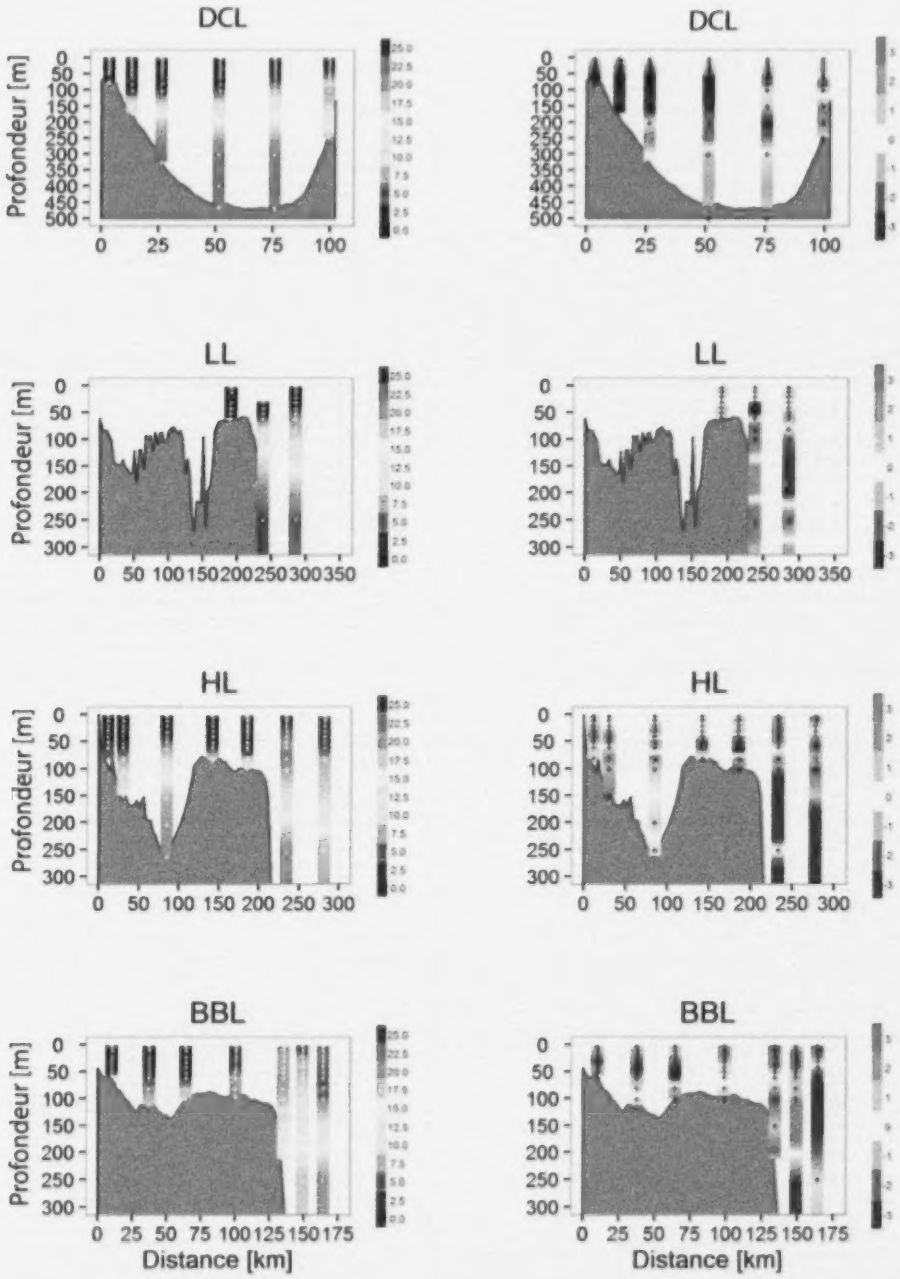

Figure 12a. Profils verticaux des concentrations en nitrates (mmoles/m^3) (panneaux de gauche) et leurs anomalies (mmoles/m^3) par rapport aux conditions de référence (1999 – 2010) (panneaux de droite) dans les sections du plateau néo-écossais au printemps 2016. Les marques blanches figurant sur les panneaux de gauche indiquent les profondeurs réelles de l'échantillonnage pour 2016. Les marques noires figurant sur les panneaux de droite indiquent les profondeurs pour lesquelles les valeurs climatologiques propres à chaque station ont été calculées.

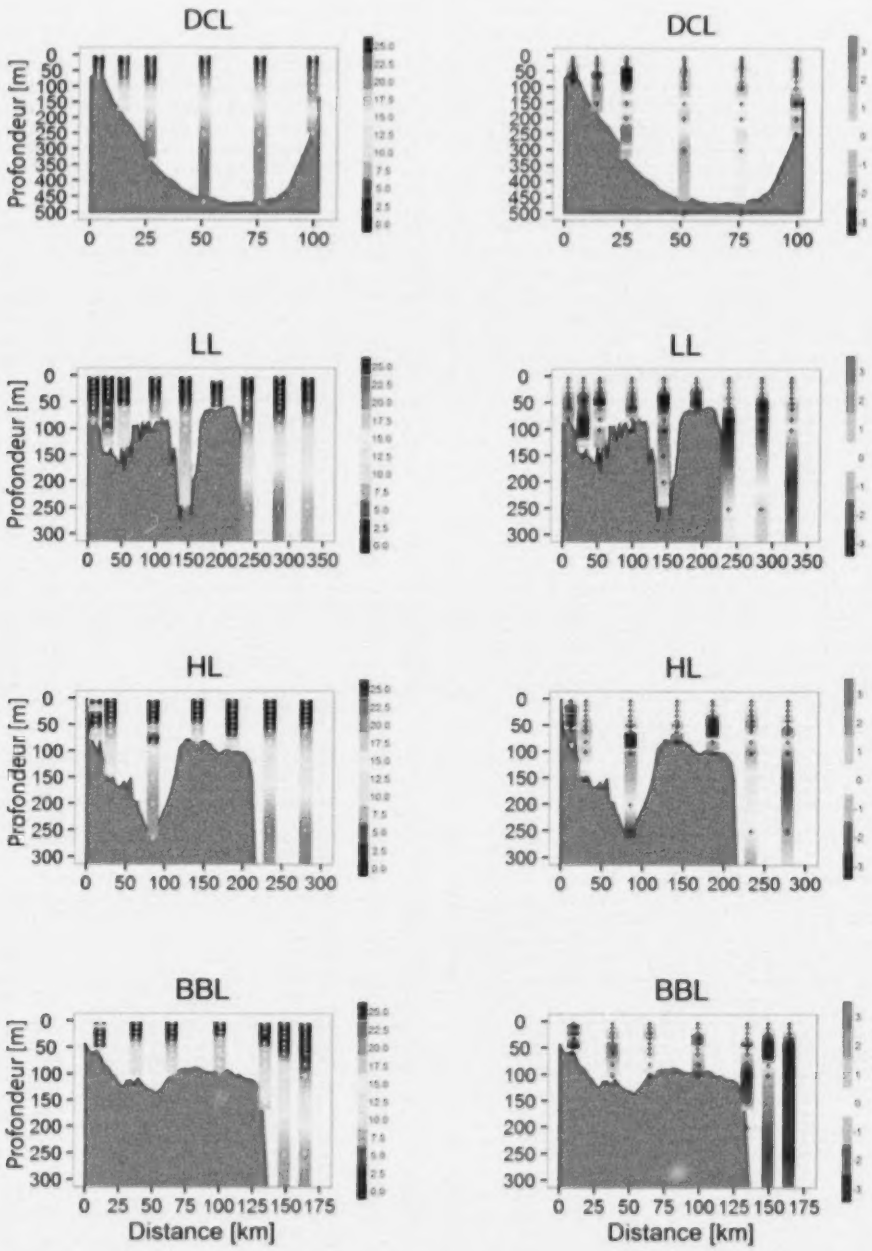

Figure 12b. Profils verticaux des concentrations en nitrates (mmoles/m^3) (panneaux de gauche) et leurs anomalies (mmoles/m^3) par rapport aux conditions de référence (1999 – 2010) (panneaux de droite) dans les sections du plateau néo-écossais à l'automne 2016. Les marques blanches figurant sur les panneaux de gauche indiquent les profondeurs réelles de l'échantillonnage pour 2016. Les marques noires figurant sur les panneaux de droite indiquent les profondeurs pour lesquelles les valeurs climatologiques propres à chaque station ont été calculées.

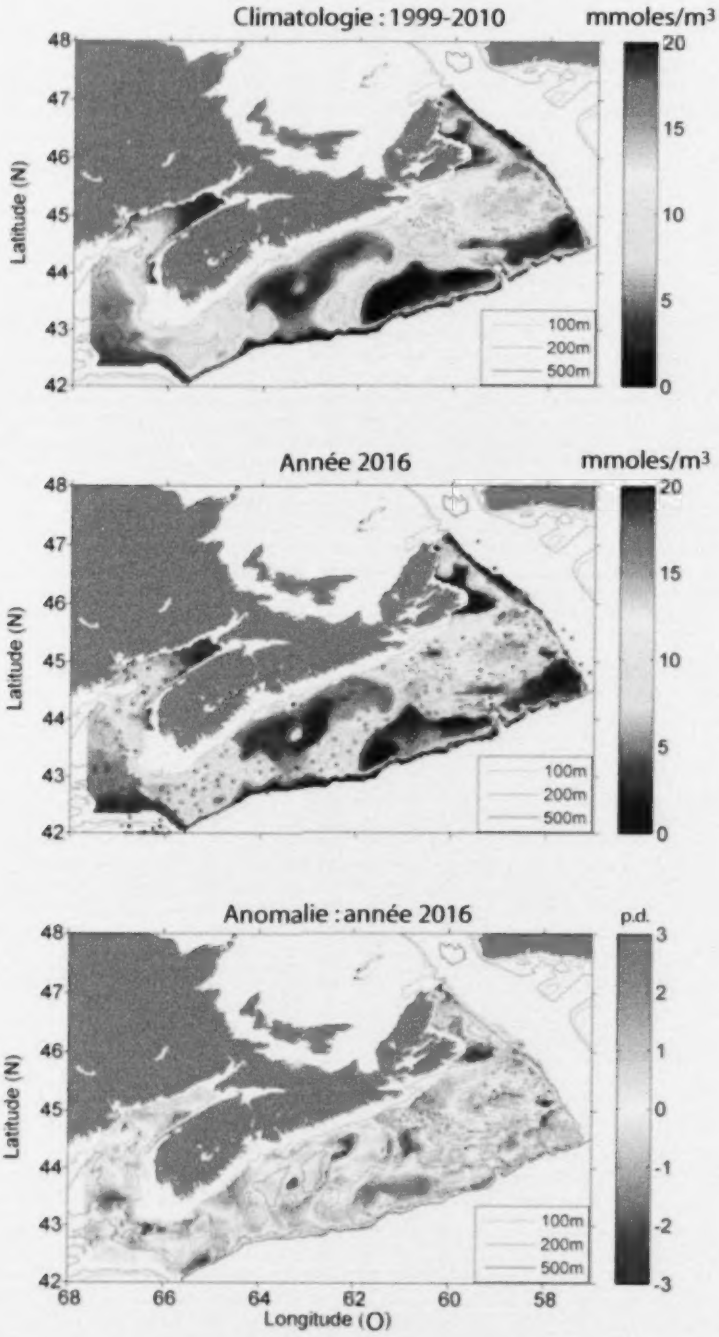

Figure 13. Concentrations en nitrates au fond sur le plateau néo-écossais durant le relevé au chalut de l'écosystème annuel (juillet) : climatologie entre 1999 et 2010 (panneau du haut), conditions enregistrées en 2016 (panneau du milieu) et anomalies normalisées en fonction de la climatologie (panneau du bas). Les marques figurant dans le panneau du milieu représentent les emplacements d'échantillonnage en 2016; p.d. = pas de dimensions.

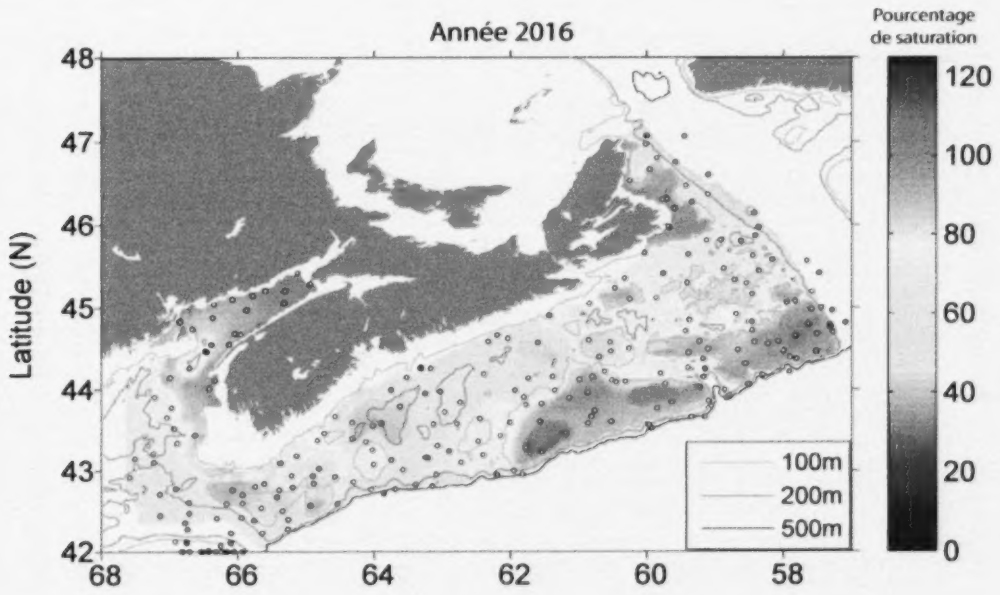

Figure 14. Niveau de saturation en oxygène au fond sur le plateau néo-écossais durant le relevé au chalut de l'écosystème du mois de juillet en 2016. Les marques représentent les emplacements d'échantillonnage en 2016.

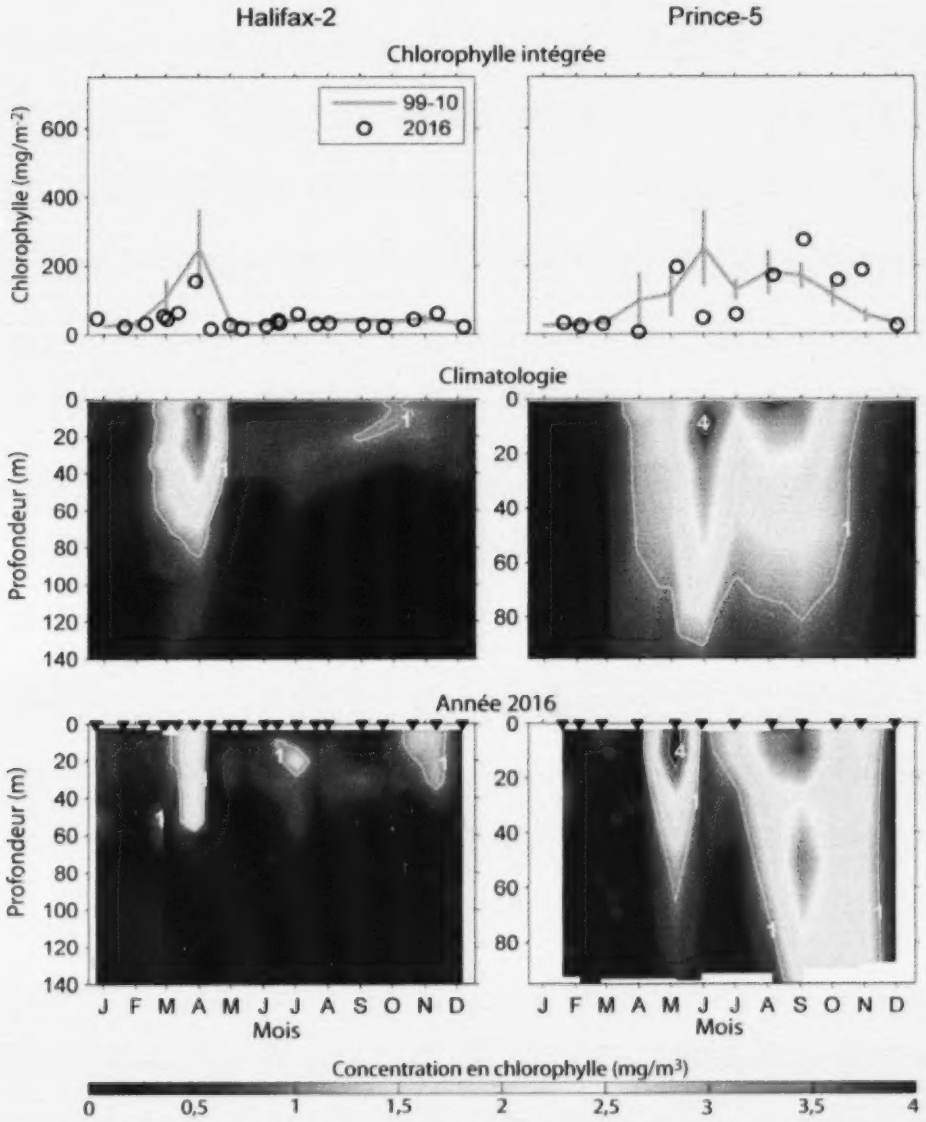

Figure 15. Variabilité annuelle des concentrations de chlorophylle aux stations des Maritimes utilisées pour les séries chronologiques (colonne de gauche : Halifax-2, colonne de droite : Prince-5). Ligne du haut : inventaires de la chlorophylle (0 – 100 m à Halifax-2, 0 – 95 m à Prince-5) en 2016 (cercles ouverts) et valeurs moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Ligne du milieu : cycle saisonnier moyen (1999 – 2010) de la structure verticale des concentrations en chlorophylle (mg/m^3). Ligne du bas : cycle saisonnier de la structure verticale des concentrations en chlorophylle en 2016. L'échelle de couleur a été choisie pour que l'on puisse mettre l'accent sur les changements qui se produisent près des niveaux estimés de saturation de la nourriture pour les grands copépodes.

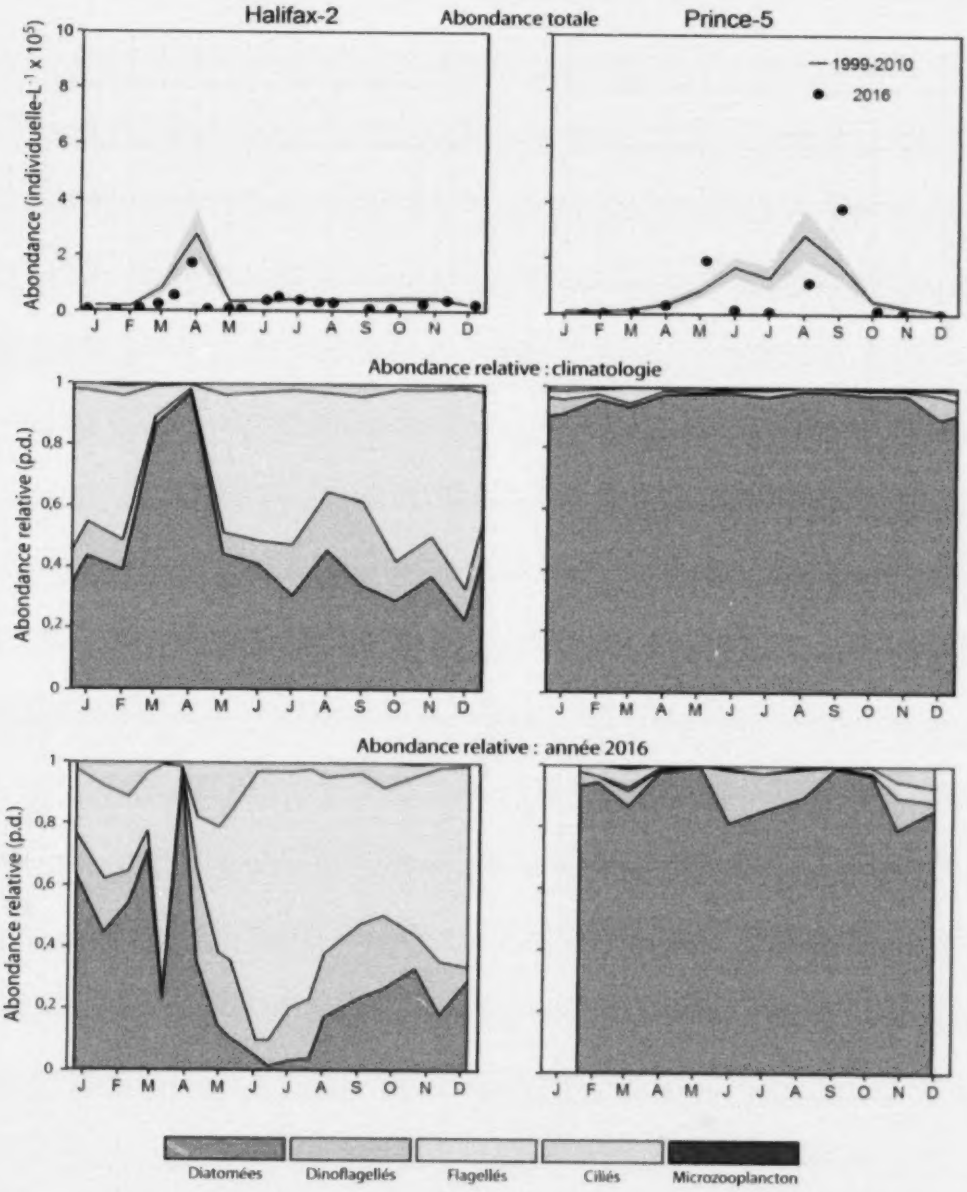

Figure 16. Comparaison de l'abondance et de la composition des communautés de microplancton (phytoplancton et protistes) en 2016 avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (Halifax-2 : panneaux de droite; Prince-5 : panneaux de gauche). Panneaux du haut : abondance du microplancton en 2016 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du milieu : abondance relative climatologique du microplancton enregistrée entre 1999 et 2010. Panneaux du bas : abondance relative du microplancton en 2016; p.d. : pas de dimension.

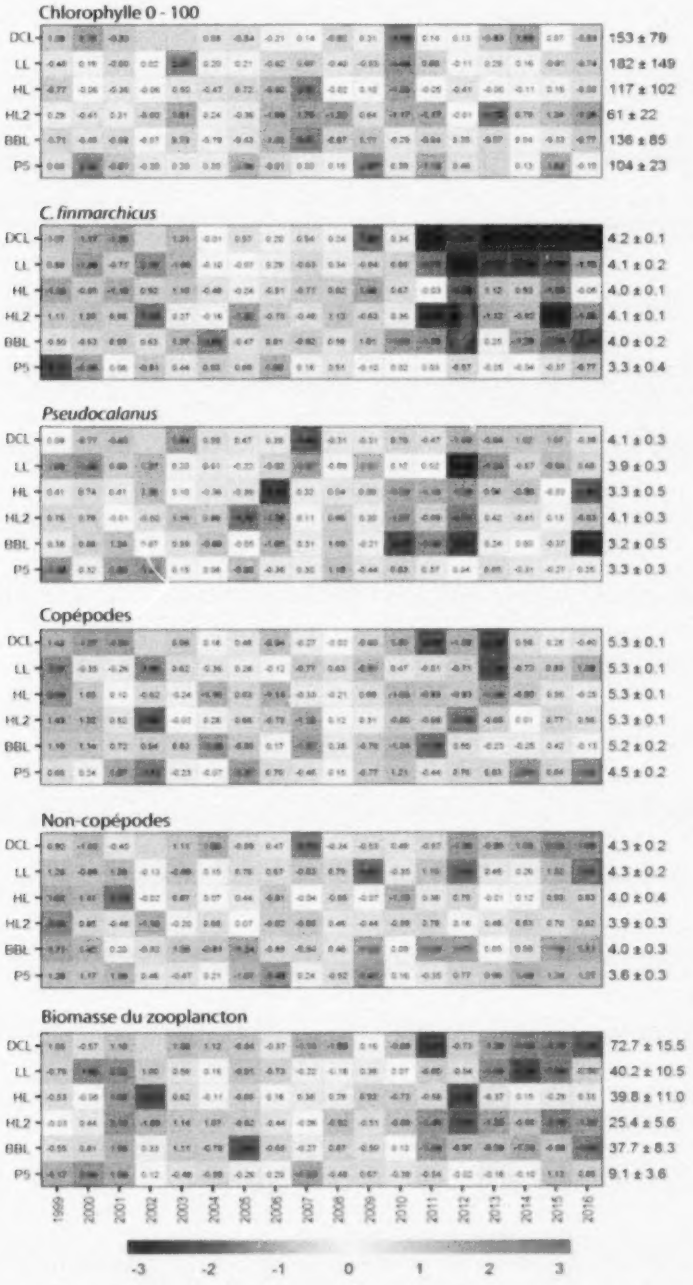

Figure 17. Feuille de notation de l'anomalie annuelle de l'abondance ou de la biomasse du phytoplancton (chlorophylle) et du zooplancton. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux de la variable supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section du banc de Browns, P5 : Prince-5.

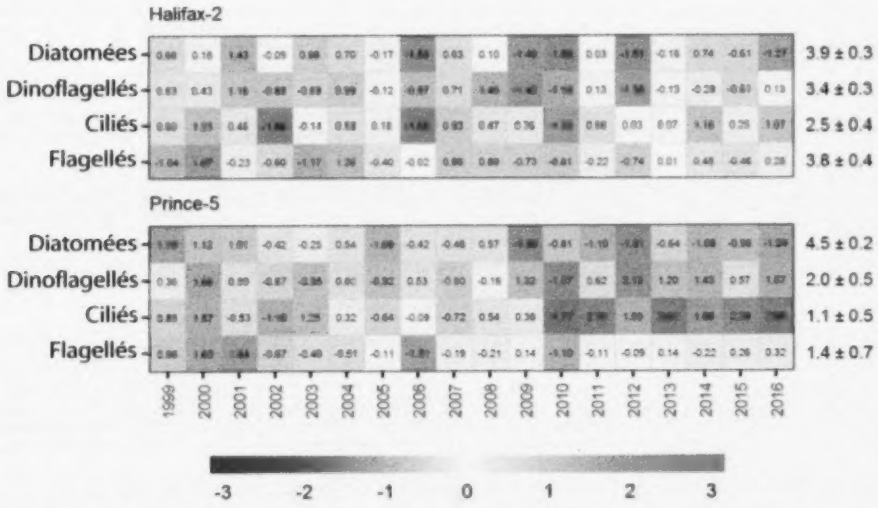

Figure 18. Feuille de notation de l'anomalie annuelle de l'abondance du microplancton aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance du microplancton supérieurs (inférieurs) à la normale.

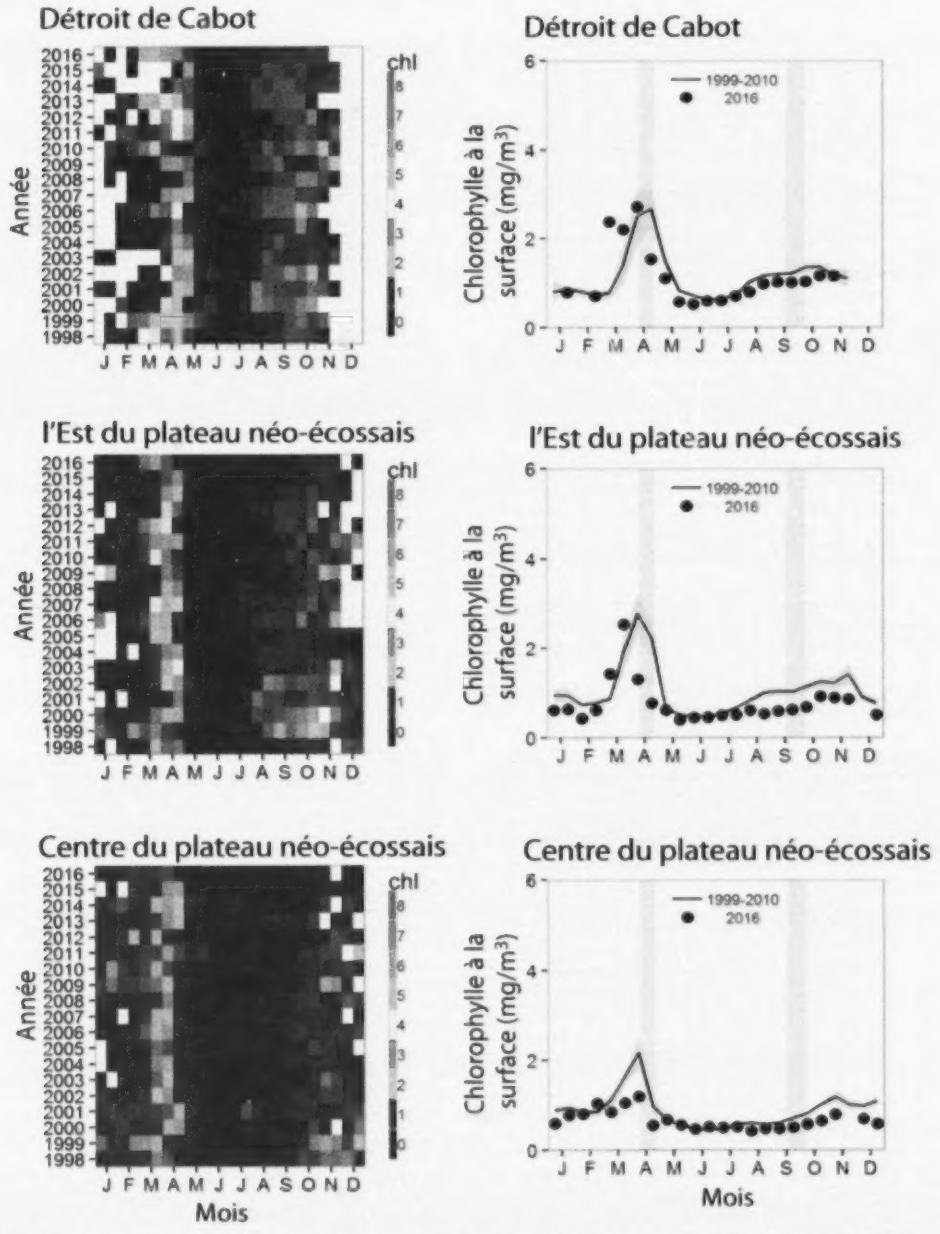

Figure 19a. Estimations des concentrations de chlorophylle à la surface grâce aux données bimensuelles sur la couleur de l'océan recueillies par télédétection dans les sous-régions statistiques du détroit de Cabot (en haut), de l'est du plateau néo-écossais (au milieu) et du centre du plateau néo-écossais (en bas) (voir la figure 4). Les données sont recueillies à l'aide des technologies SeaWiFS (1998-2003); MODIS (2004-2011); VIIRS (2012-2016). Panneaux de gauche : série chronologique de la variation annuelle des concentrations de chlorophylle. Panneaux de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle à la surface en 2016 (cercle ouvert) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine) dans les mêmes sous-régions. Le ruban gris illustre des intervalles de confiance à 95 % des moyennes bimensuelles. Les bandes verticales roses indiquent le moment des missions saisonnières.

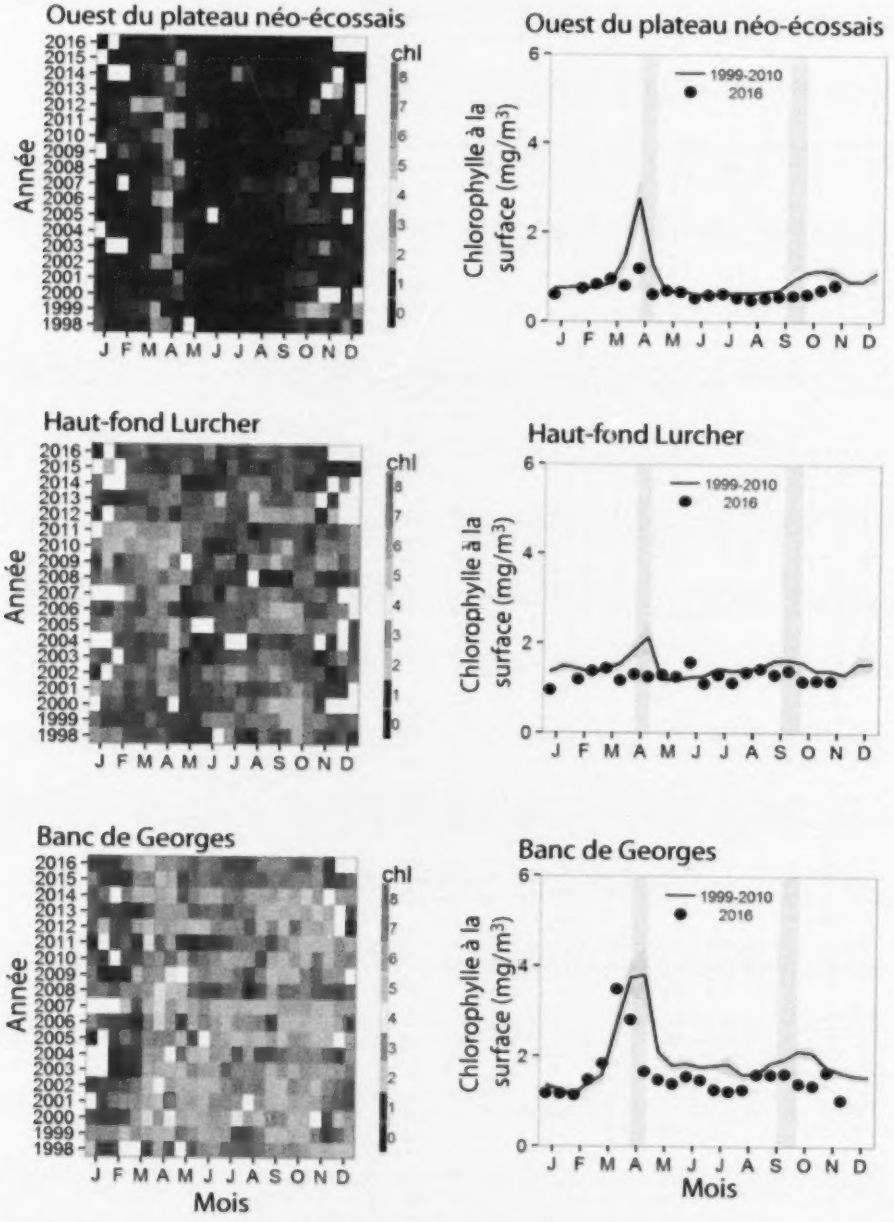

Figure 19b. Estimations des concentrations de chlorophylle à la surface grâce aux données bimensuelles sur la couleur de l'océan recueillies par télédétection dans les sous-régions statistiques de l'ouest du plateau néo-écossais (en haut), du haut-fond Lurcher (au milieu) et du banc de Georges (en bas) (voir la figure 4). Les données sont recueillies à l'aide des technologies SeaWiFS (1998-2003); MODIS (2004-2011); VIIRS (2012-2016). Panneaux de gauche : série chronologique de la variation annuelle des concentrations de chlorophylle. Panneaux de droite : comparaison des estimations de la chlorophylle à la surface en 2016 (cercle ouvert) avec les conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine) dans les mêmes sous-régions. Le ruban gris illustre des intervalles de confiance à 95 % des moyennes bimensuelles. Les bandes verticales roses indiquent le moment des missions saisonnières.

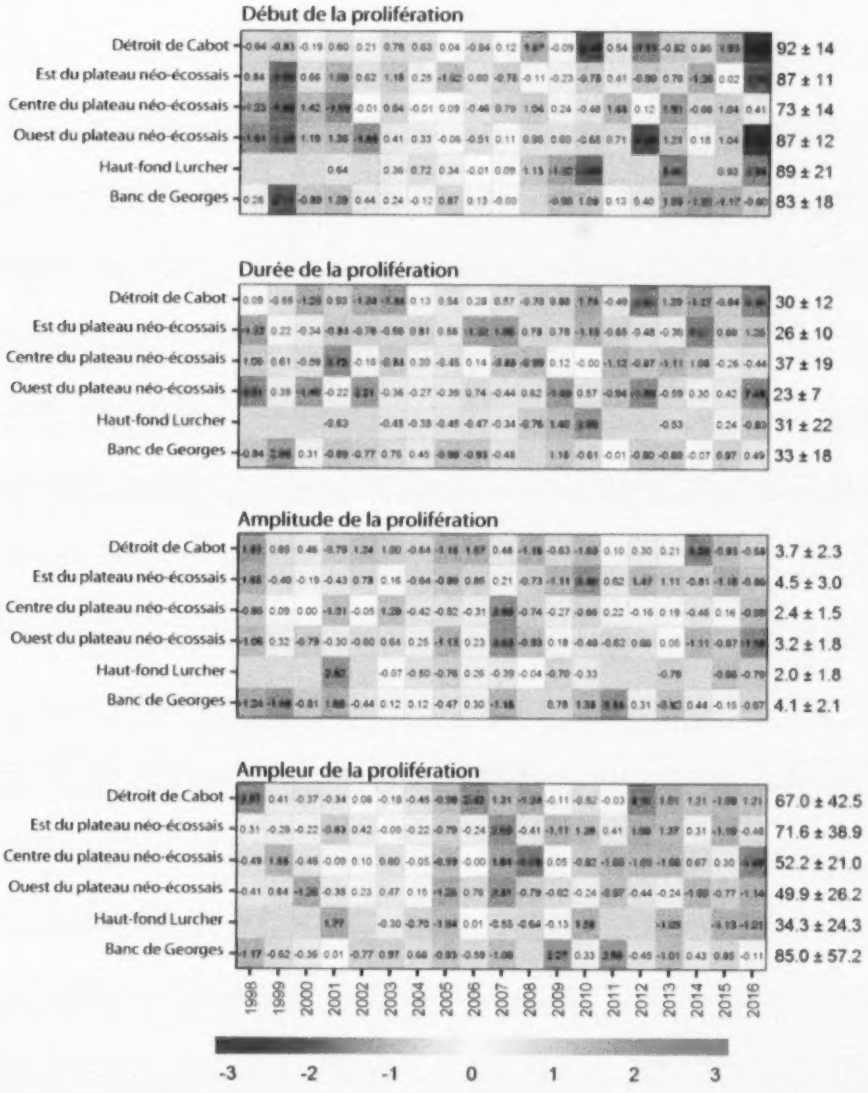

Figure 20. Feuille de notation de l'anomalie annuelle pour les paramètres de la floraison printanière. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent un début plus tardif (plus précoce), une durée plus longue (plus courte) ou une amplitude ou une ampleur supérieure (inférieure) à la normale.

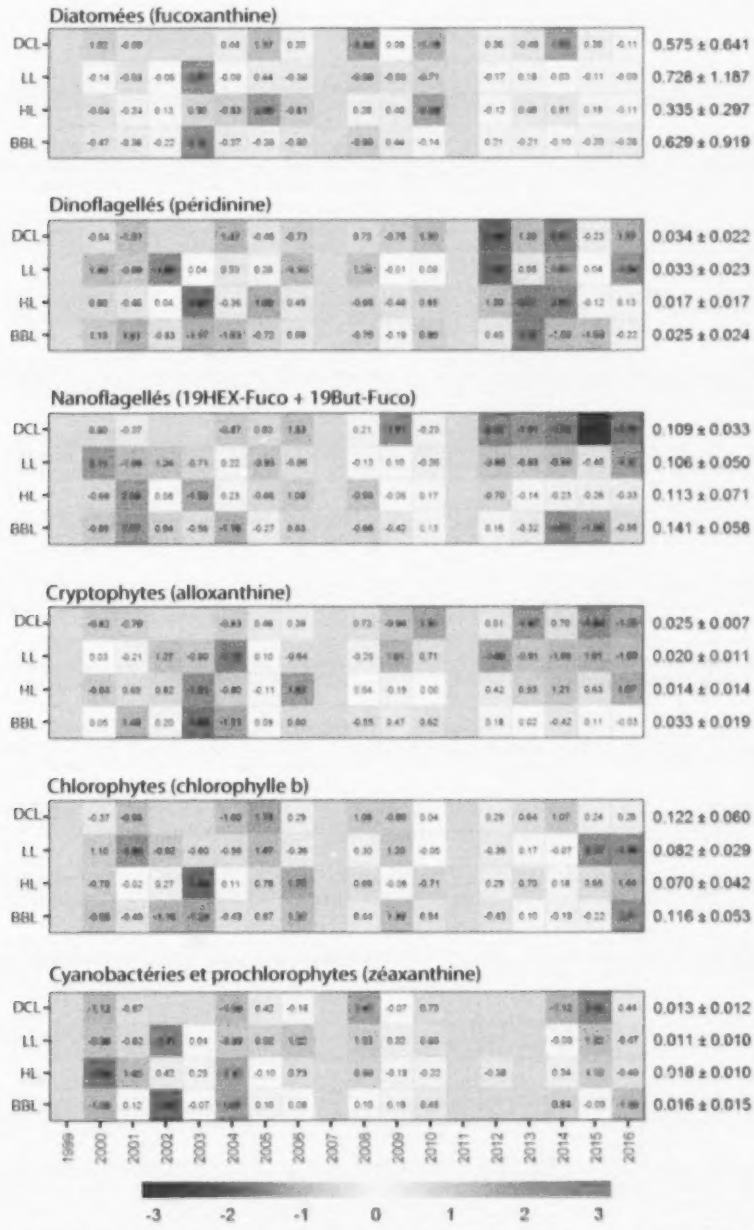

Figure 21. Feuille de notation de l'anomalie annuelle des indicateurs pigmentaires à la surface (1 – 5 m) de sept groupes taxonomiques : les diatomées, les dinoflagellés, les nanoflagellés, les cryptophytes, les chlorophytes et les cyanobactéries combinées avec les prochlorophytes (regroupés car ils partagent le même marqueur pigmentaire, la zéaxanthine). Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'indicateurs pigmentaires supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; BBL : section du banc de Browns.

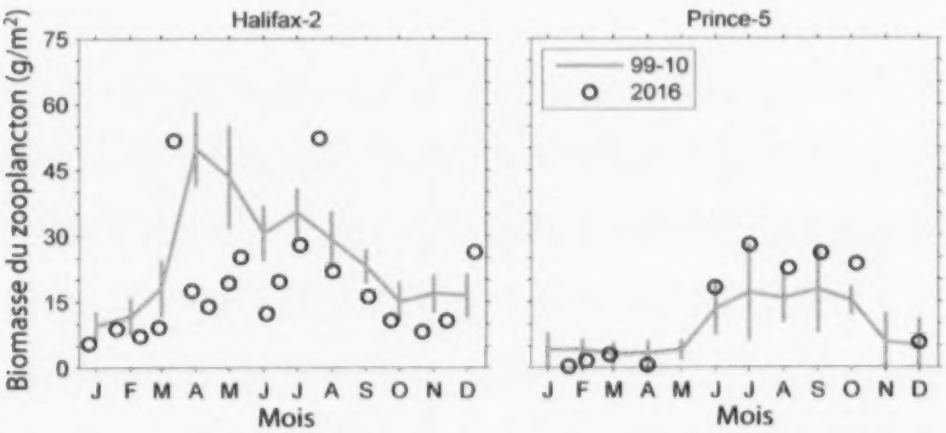

Figure 22. Biomasse du zooplancton (intégrée de la surface vers le fond) en 2016 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine) aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes. Panneau de gauche : Halifax-2; panneau de droite : Prince-5. Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles.

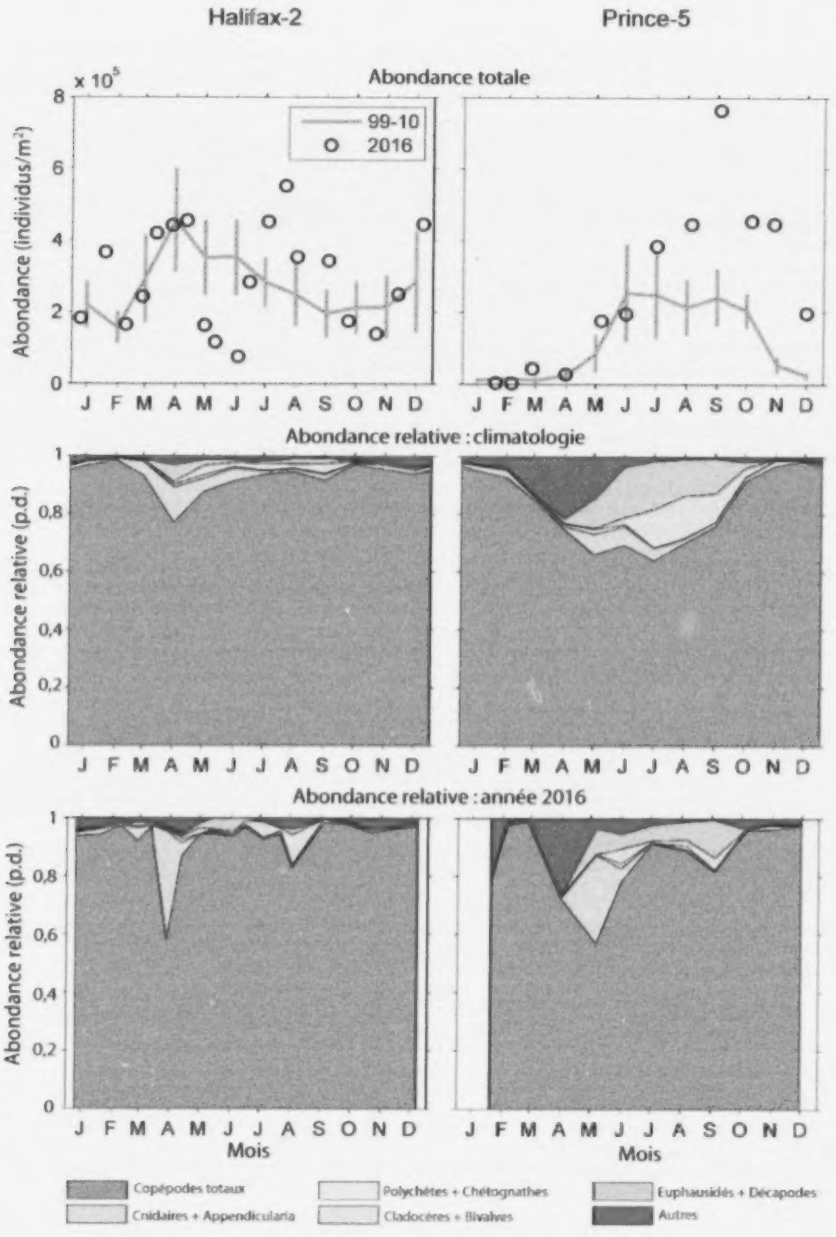

Figure 23. Abondance et composition de la communauté du zooplancton (> 200 µm) en 2016 et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (Halifax-2 : panneaux de gauche; Prince-5 : panneaux de droite). Panneaux du haut : abondance du zooplancton en 2016 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du milieu : climatologie des abondances relatives de chacun des grands groupes entre 1999 et 2010. Panneaux du bas : abondances des grands groupes en 2016; p.d. : pas de dimension.

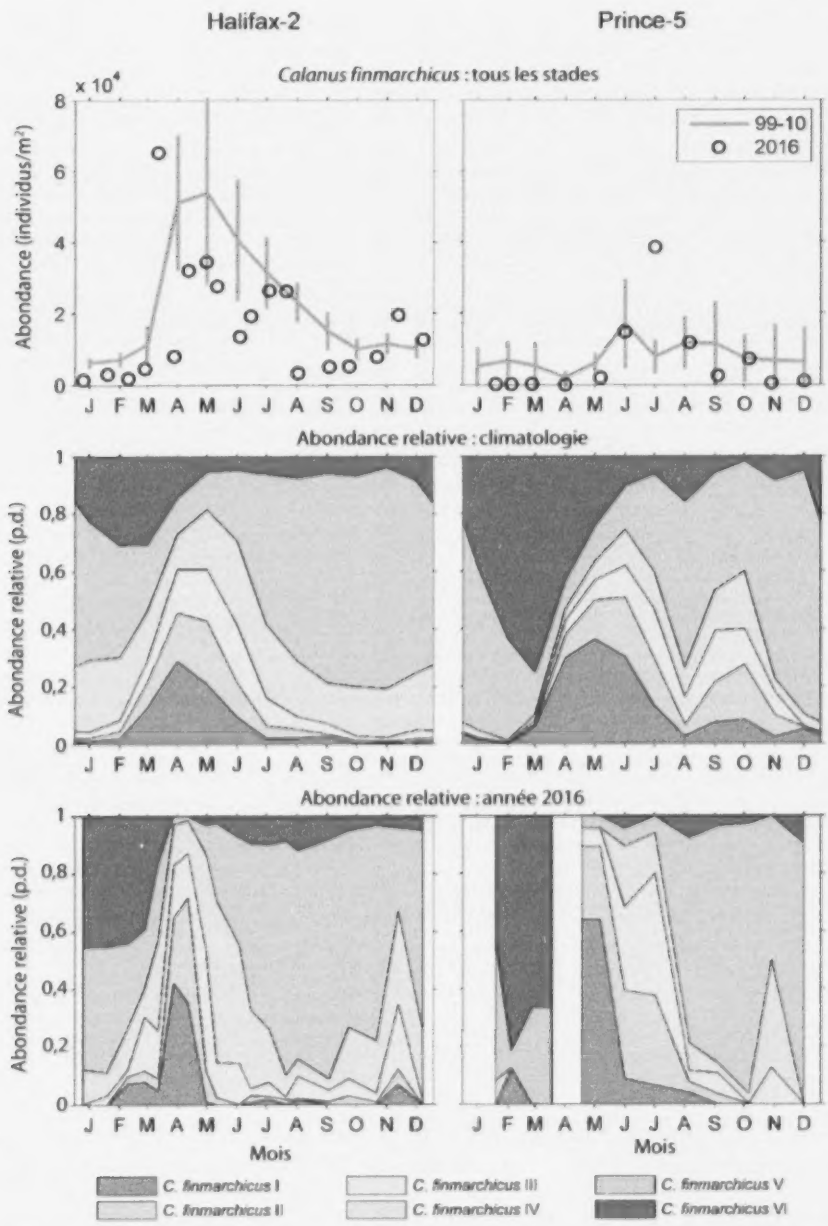

Figure 24. Abondance et répartition des stades de développement de Calanus finmarchicus en 2016 et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 aux stations d'échantillonnage à haute fréquence de la région des Maritimes (Halifax-2 : panneaux de gauche; Prince-5 : panneaux de droite). Panneaux du haut : abondance de C. finmarchicus en 2016 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du milieu : abondances relatives des stades de C. finmarchicus climatologiques entre 1999 et 2010. Panneaux du bas : abondance relative des stades de C. finmarchicus en 2016; p.d. : pas de dimension.

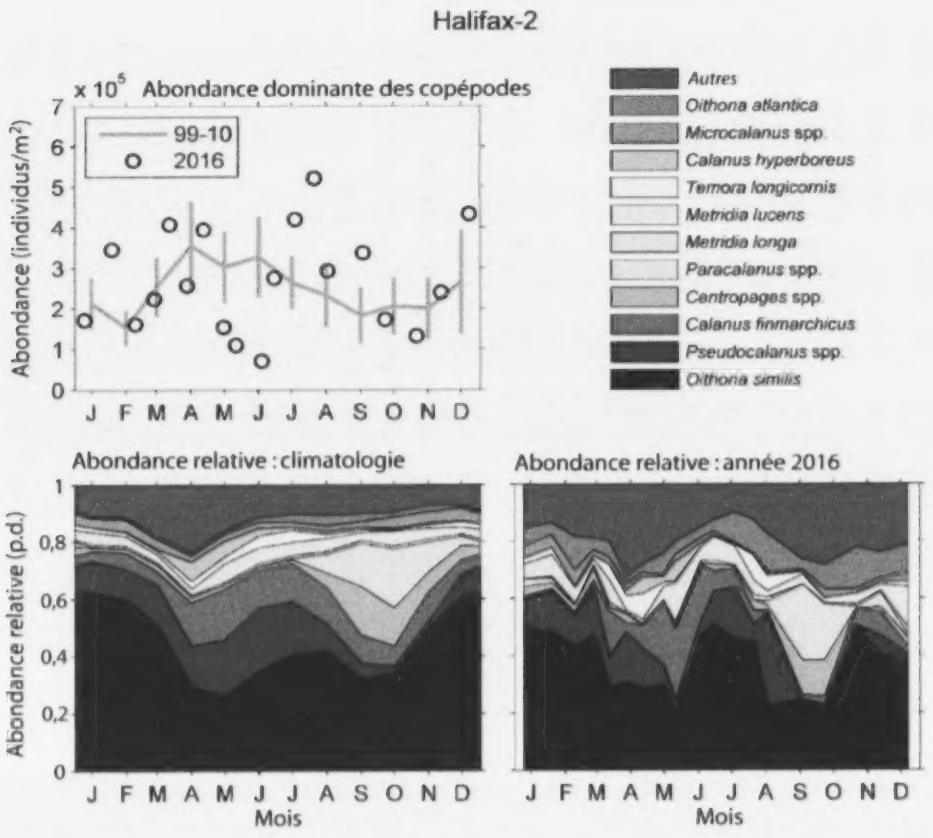

Figure 25a. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station d'Halifax-2. Les taxons de copépodes identifiés occupant la tranche supérieure de 95 % par abondance, entre 1999 et 2010, sont montrés de façon individuelle; les autres, incluant les copépodes non identifiés (principalement nauplius) font partie du groupe « autres ». Panneaux du haut à gauche : abondance des copépodes en 2016 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du bas à gauche : climatologie des abondances relatives des copépodes entre 1999 et 2010. Panneaux du bas à droite : abondance relative des copépodes en 2016; p.d. : pas de dimension.

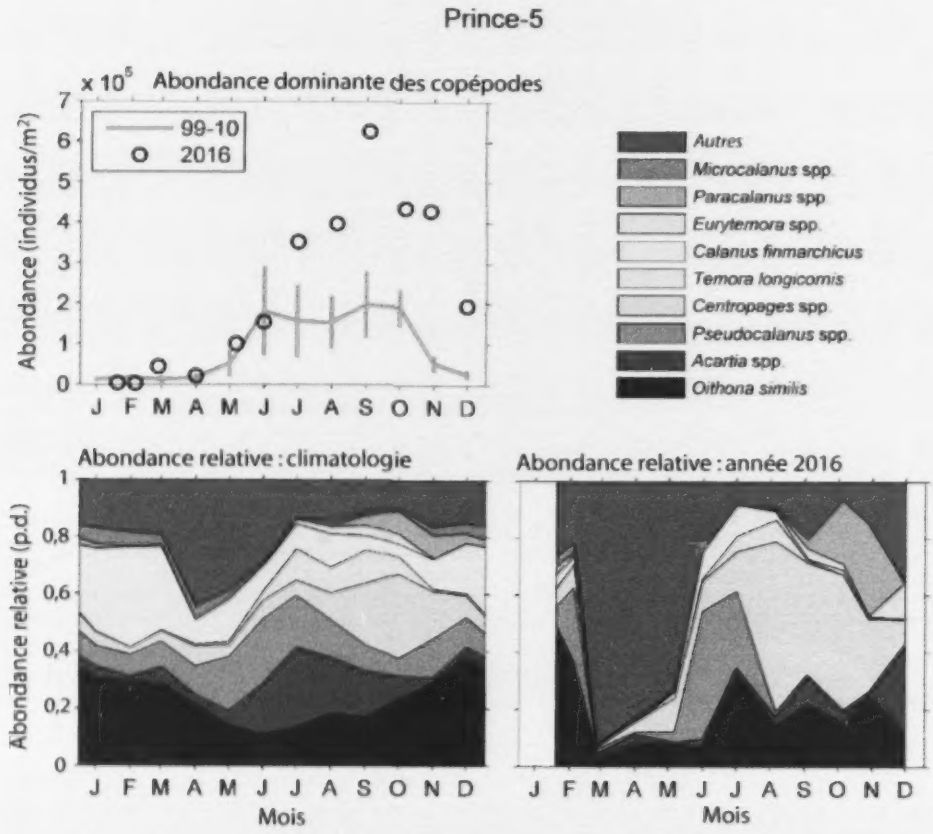

Figure 25b. Variabilité saisonnière des copépodes dominants à la station de Prince-5. Les taxons de copépodes identifiés occupant la tranche supérieure de 95 % par abondance, entre 1999 et 2010, sont montrés de façon individuelle; les autres, incluant les copépodes non identifiés (principalement nauplius) font partie du groupe « autres ». Panneaux du haut à gauche : abondance des copépodes en 2016 (cercle ouvert) et conditions moyennes enregistrées entre 1999 et 2010 (ligne pleine). Les lignes verticales illustrent des intervalles de confiance à 95 % des moyennes mensuelles. Panneaux du bas à gauche : climatologie des abondances relatives des copépodes entre 1999 et 2010. Panneaux du bas à droite : abondance relative des copépodes en 2016; p.d. : pas de dimension.

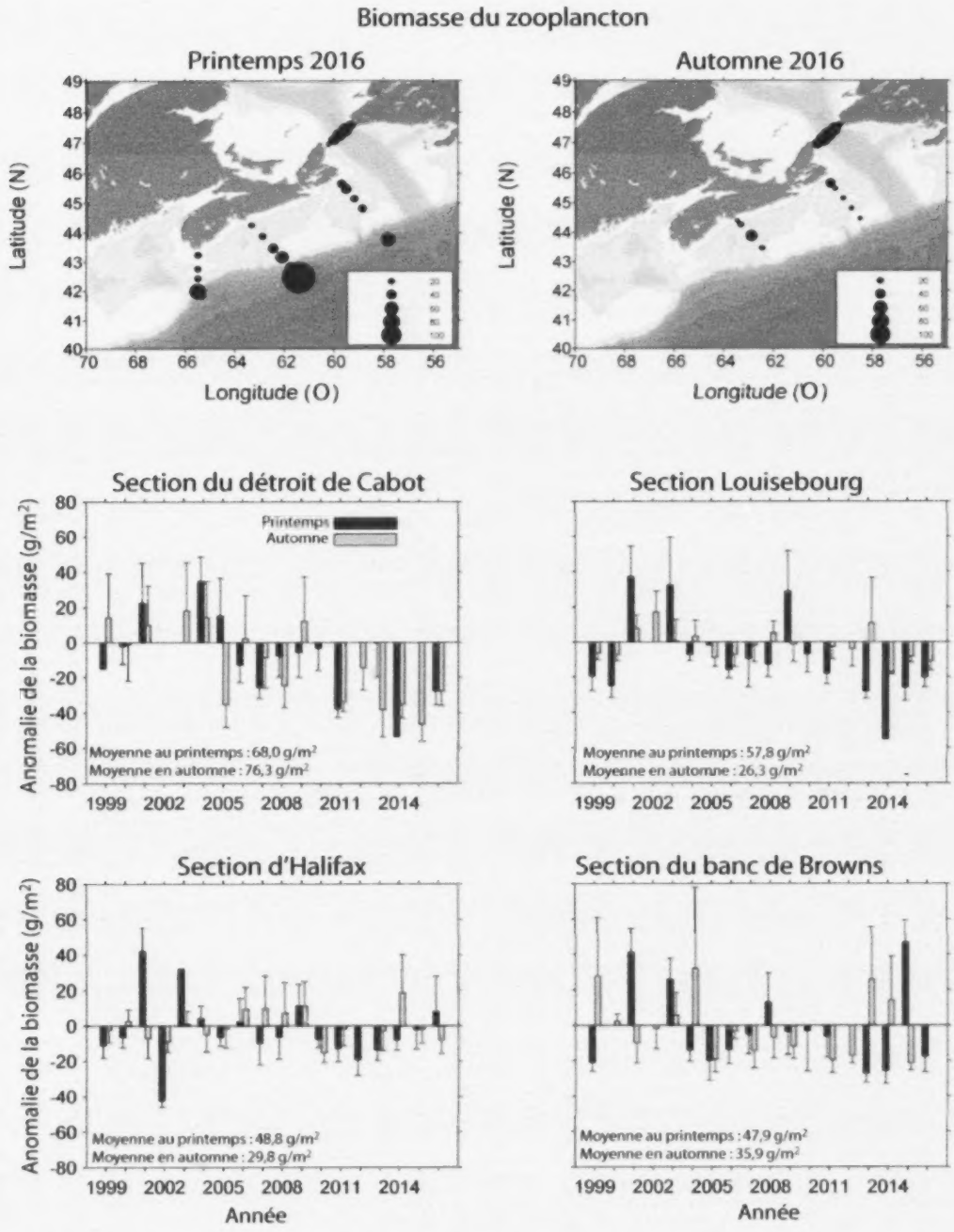

Figure 26. Répartition spatiale de la biomasse du zooplancton en 2016 (panneaux du haut) et séries chronologiques des anomalies de la biomasse du zooplancton dans les sections du plateau néo-écossais (panneaux du milieu et du bas) au printemps et en automne entre 1999 et 2016. Les lignes verticales dans les panneaux du bas représentent les écarts-types.

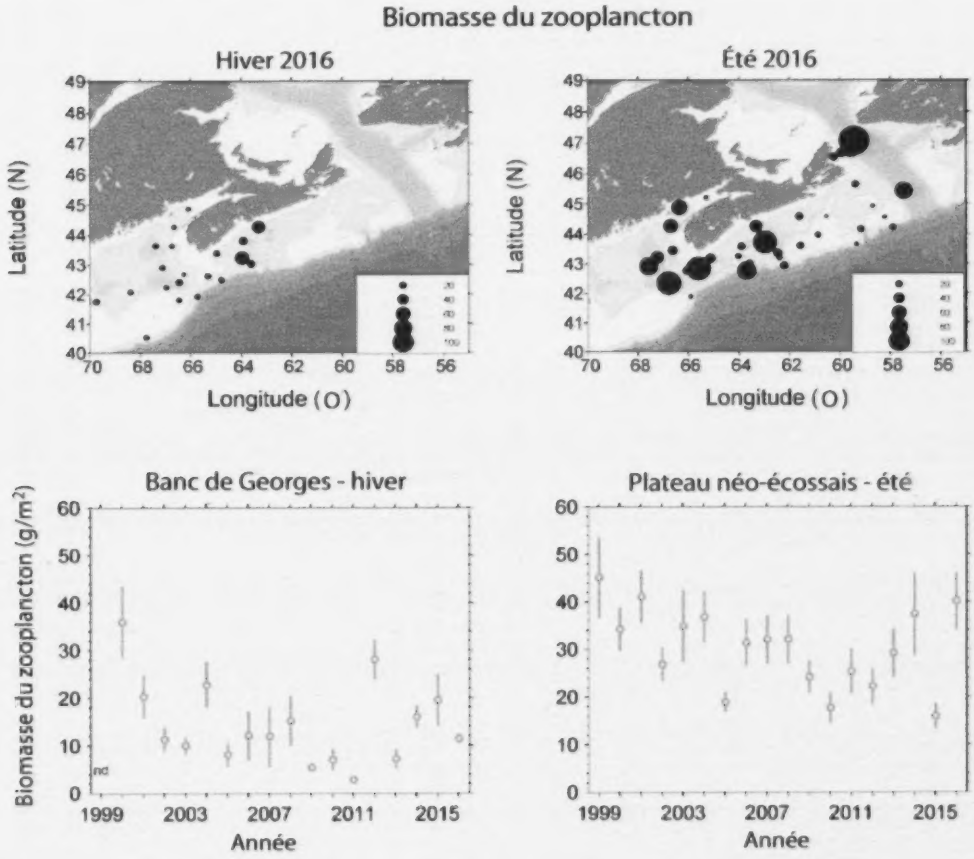

Figure 27. Biomasse du zooplancton dérivée des relevés au chalut de l'écosystème sur le banc de Georges (février), l'est du plateau néo-écossais (mars) et le plateau néo-écossais et l'est du golfe du Maine (été) : les panneaux du haut montrent les répartitions spatiales en 2016, les panneaux du bas montrent la biomasse moyenne dérivée des relevés pour la période s'échelonnant entre 1999 et 2016 (les lignes verticales représentent les écarts-types, p.d. = pas de relevé cette année-là).

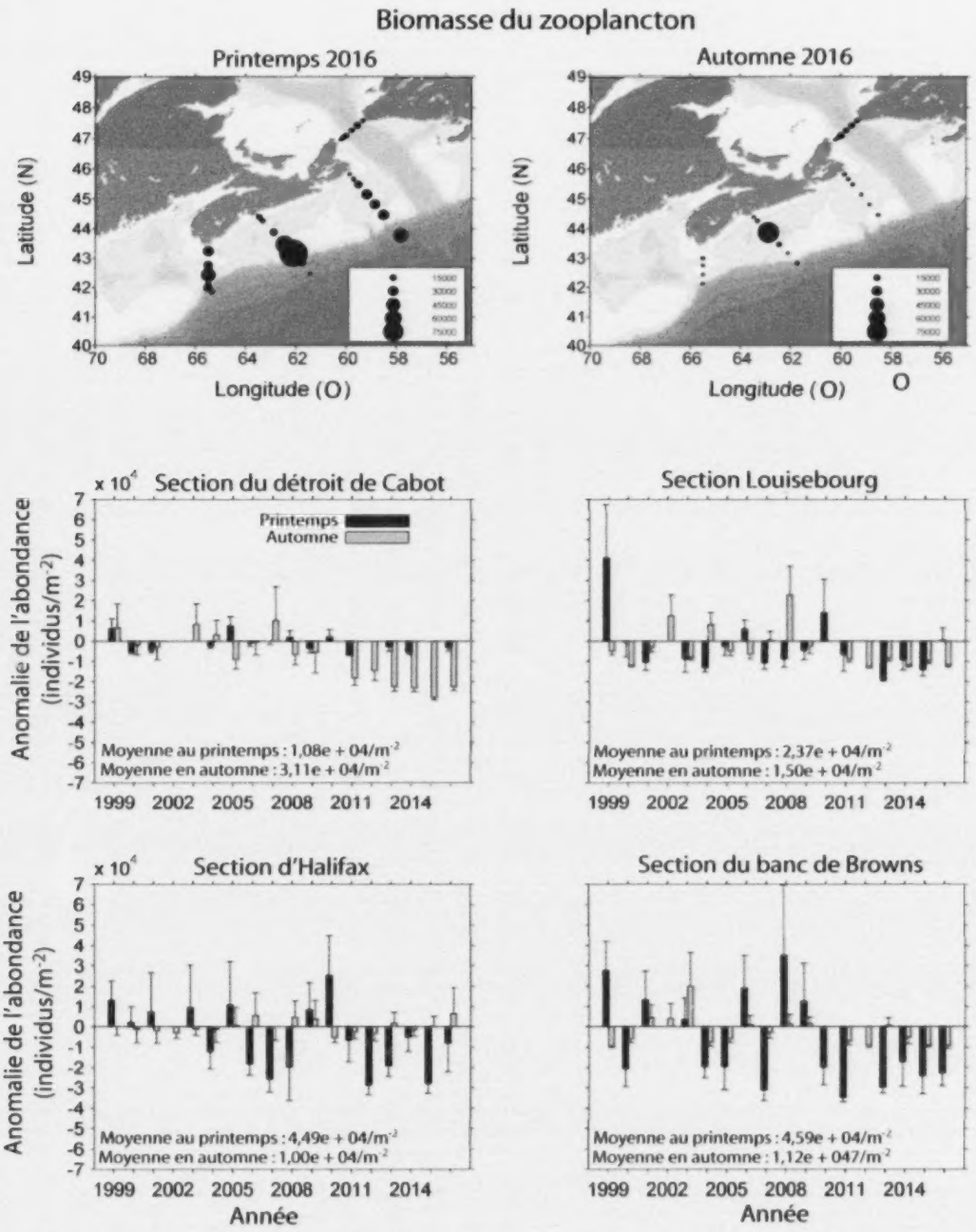

Figure 28. Répartition spatiale de l'abondance de Calanus finmarchicus en 2016 (panneaux du haut) et séries chronologiques des anomalies de l'abondance moyenne de C. finmarchicus dans les sections du plateau néo-écossais (panneaux du milieu et du bas) au printemps et en automne pour la période s'échelonnant entre 1999 et 2016. Les lignes verticales dans les panneaux du bas représentent les écarts-types.

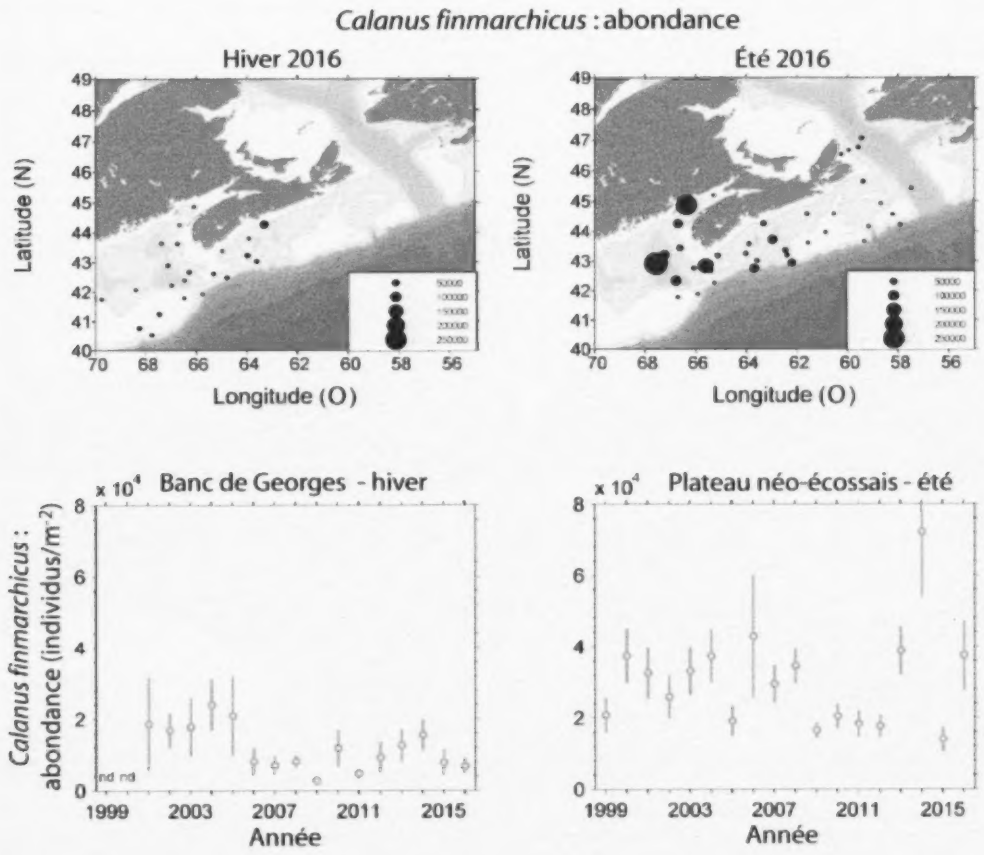

Figure 29. Abondance de C. finmarchicus dérivée des relevés au chalut de l'écosystème sur le banc de Georges (février), l'est du plateau néo-écossais (mars) et le plateau néo-écossais et l'est du golfe du Maine (été) : les panneaux du haut montrent la répartition spatiale en 2016, les panneaux du bas montrent l'abondance moyenne dérivée des relevés pour la période s'échelonnant entre 1999 et 2016 (les lignes verticales représentent les écarts-types; p.d. = pas de relevé cette année-là).

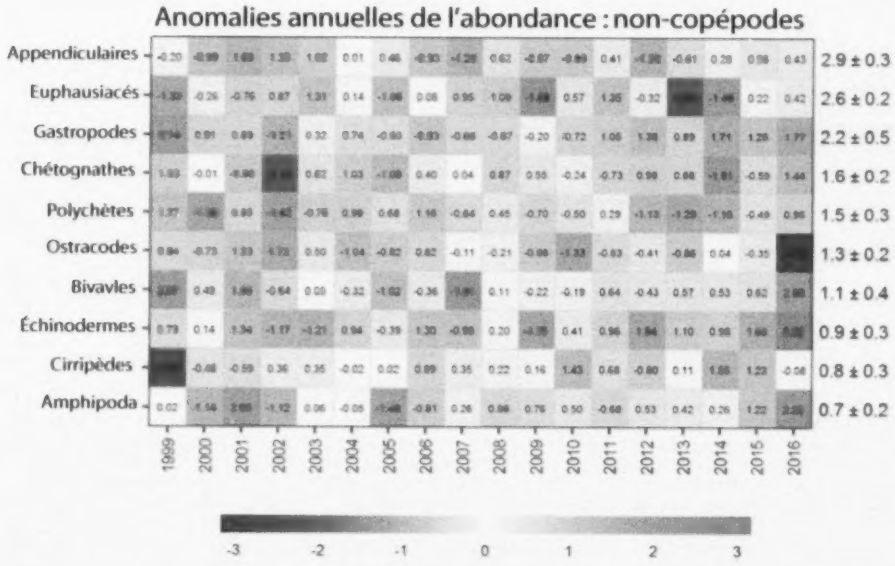

Figure 30. Feuille de notation de l'anomalie annuelle des abondances des espèces du groupe des non-copépodes dans les sections du plateau néo-écossais classées depuis les groupes affichant l'abondance la plus élevée jusqu'à ceux affichant l'abondance la plus faible. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale.

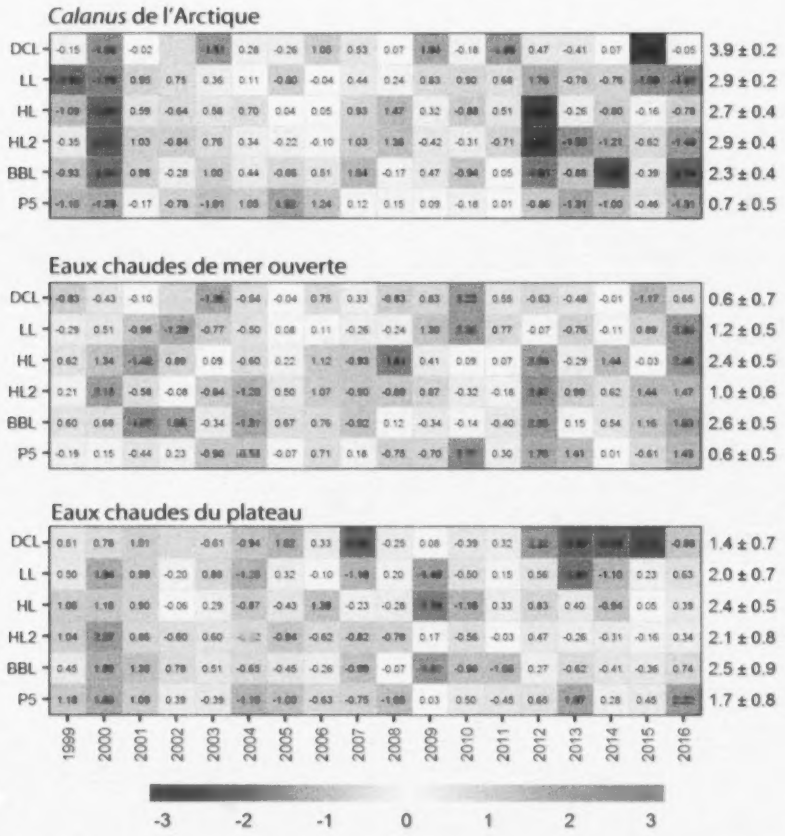

Figure 31. Feuille de notation de l'anomalie annuelle pour les abondances du groupe des espèces de copépodes indicatrices. Les valeurs figurant dans chaque cellule sont les anomalies par rapport à la moyenne pour la période de référence (1999 – 2010), en unités d'écart-type (les moyennes et les écarts-types sont présentés à droite). Une cellule grise indique des données manquantes. Les cellules rouges (bleues) indiquent des niveaux d'abondance supérieurs (inférieurs) à la normale. DCL : section du détroit de Cabot; LL : section de Louisbourg; HL : section d'Halifax; HL2 : Halifax-2, BBL : section du banc de Browns, P5 : Prince-5.

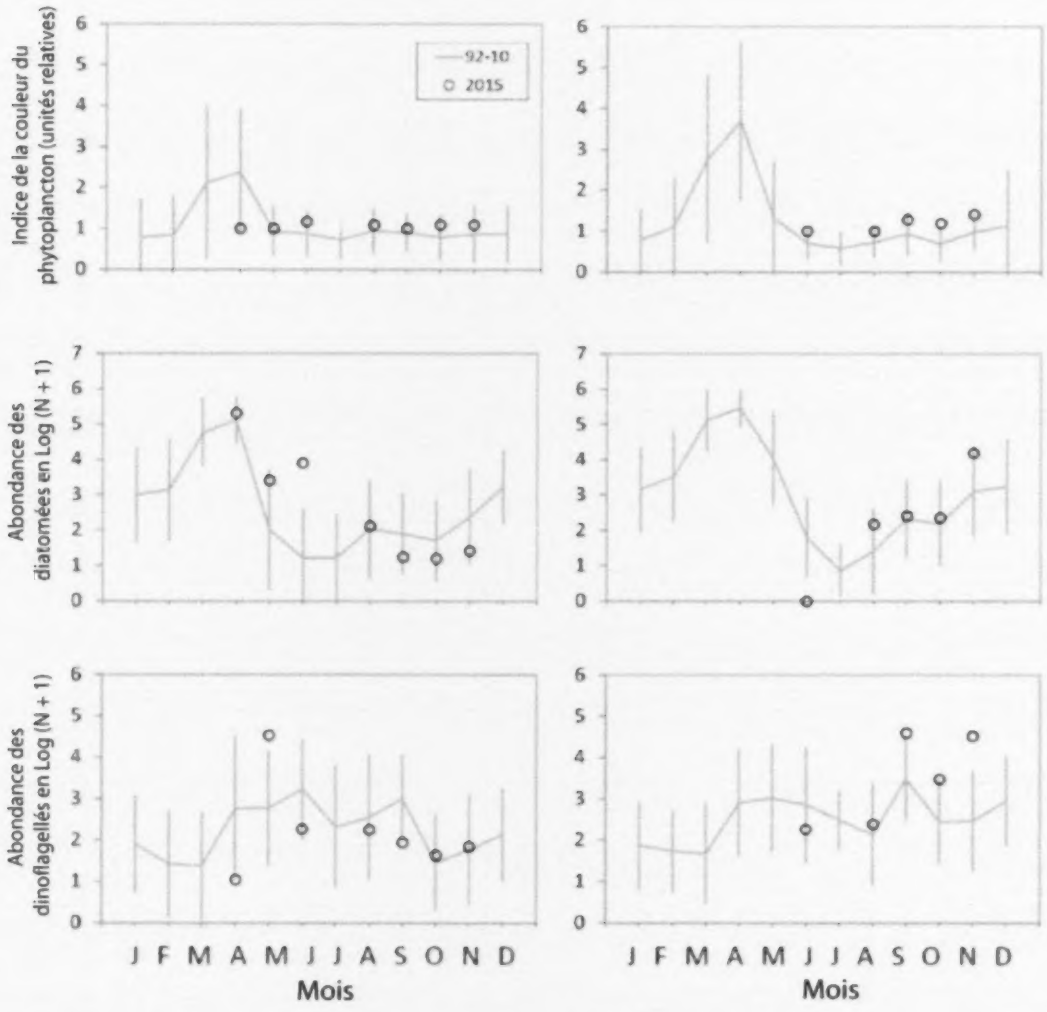

Figure 32. Indices de l'abondance du phytoplancton reposant sur l'enregistrement continu du plancton en 2015 et conditions moyennes enregistrées entre 1992 et 2010 (ligne pleine) sur l'ouest du plateau néo-écossais (colonne de gauche) et sur l'est du plateau néo-écossais (colonne de droite). Les lignes verticales représentent les écarts-types des moyennes mensuelles.

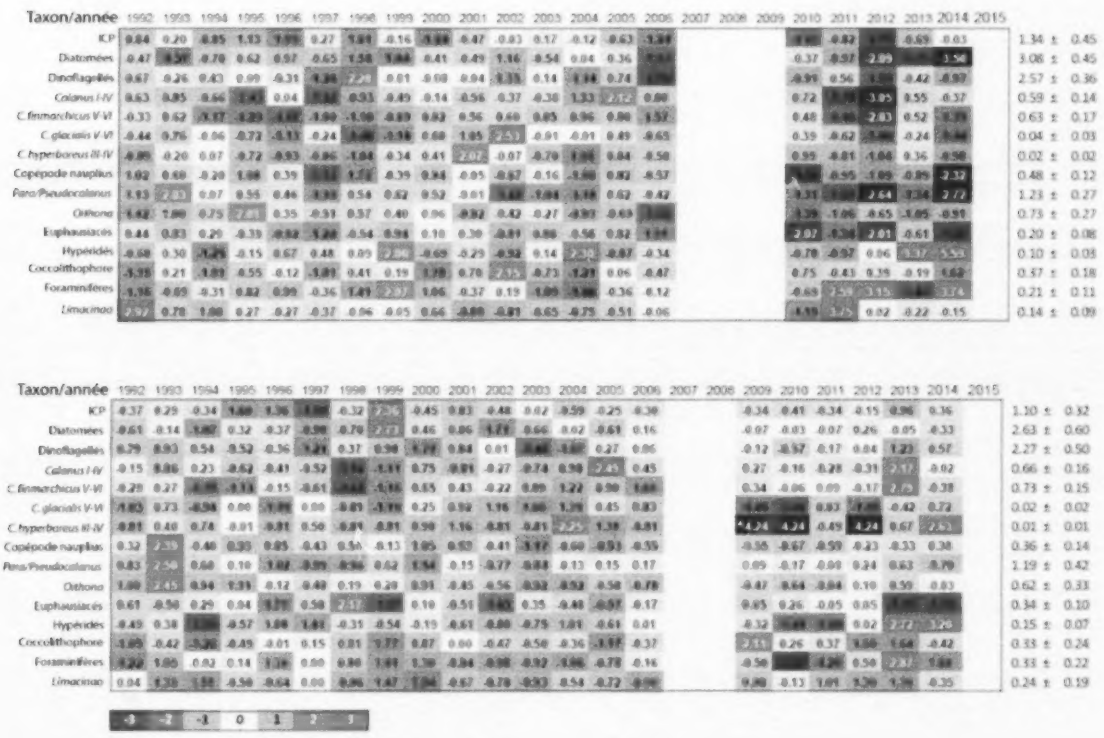

Figure 33. Feuille de notation de l'anomalie annuelle de l'abondance des taxons de phytoplancton et de zooplancton observés grâce à l'enregistrement continu du plancton sur l'est du plateau néo-écossais (panneau du haut) et sur l'ouest du plateau néo-écossais (panneau du bas). Les cellules vides correspondent aux années durant lesquelles l'échantillonnage a été effectué durant huit mois ou moins, ou les années durant lesquelles on a enregistré une lacune dans l'échantillonnage d'au moins trois mois consécutifs. Les cellules rouges (bleues) indiquent des valeurs supérieures (inférieures) à la normale. La période de référence est celle qui s'échelonne entre 1992 et 2010. Les nombres qui figurent dans les cellules sont les anomalies normalisées.

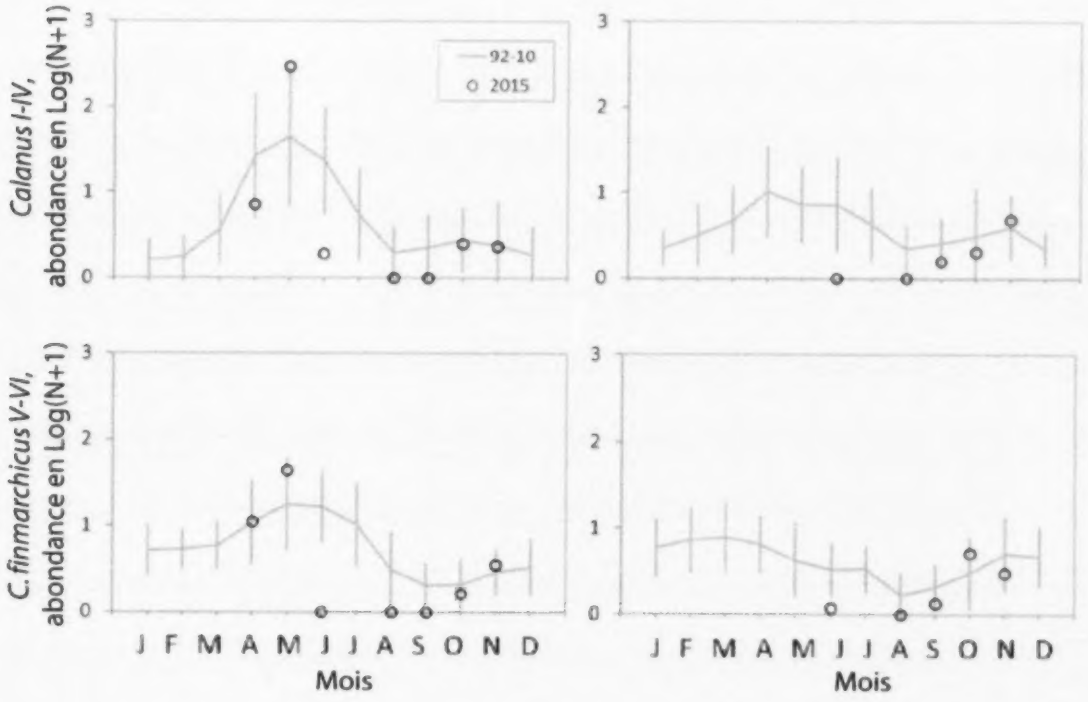

Figure 34. Indices de l'abondance des espèces de Calanus aux stades I à IV (principalement C. finmarchicus, ligne du haut) reposant sur l'enregistrement continu du plancton et de C. finmarchicus aux stades V et VI (ligne du bas) en 2015 et conditions moyennes enregistrées entre 1992 et 2010 (ligne pleine) sur l'ouest du plateau néo-écossais (colonne de gauche) et sur l'est du plateau néo-écossais (colonne de droite). Les lignes verticales représentent les écarts-types des moyennes mensuelles.